



TUGAS AKHIR - TM 090340

PERENCANAAN SISTEM KONTROL MESIN BENSIN 4 LANGKAH MENGGUNAKAN APLIKASI NI LABVIEW

Reno Murda Pradana
NRP 2113030058

Dosen Pembimbing I
Hendro Nurhadi, Dipl.-Ing., Ph.D.
NIP. 19751120 200212 1 002

Dosen Pembimbing II
Ir. Syamsul Hadi, MT
NIP. 19581103 198701 1 001

PROGRAM STUDI D3 TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



FINAL PROJECT - TM 090340

**4 STROKE PETROL ENGINE CONTROL SYSTEM
DESIGN WITH NI LABVIEW**

Reno Murda Pradana
NRP 2113030058

Dosen Pembimbing I
Hendro Nurhadi, Dipl.-Ing., Ph.D.
NIP. 19751120 200212 1 002

Dosen Pembimbing II
Ir. Syamsul Hadi, MT
NIP. 19581103 198701 1 001

DIPLOMA III STUDY PROGRAM
MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Institute Technology of Sepuluh Nopember
Surabaya 2016

**PERENCANAAN SISTEM KONTROL MESIN
BENSIN 4 LANGKAH MENGGUNAKAN
APLIKASI NI LABVIEW**

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Ahli Madya Teknik
Pada Bidang Studi Manufaktur
Program Studi D3 Teknik Mesin
Fakultas teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

RENO MURDA PRADANA
NRP. 2113030058

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II



Hendro Nurhadi, Dipl.-Ing., PhD

Dr. Syamsul Hadi, MT

NIP. 19751120 200212 1 002

NIP. 19581103 198701 1 001

**SURABAYA
JUNI, 2016**

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

PERENCANAAN SISTEM KONTROL MESIN BENSIN 4 LANGKAH MENGGUNAKAN APLIKASI NI LABVIEW

Nama : Reno Murda Pradana
Pembimbing : 1. Hendro Nurhadi, Dipl.-Ing., Ph.D.
2. Ir. Syamsul Hadi, MT

ABSTRAK

Penelitian ini membahas tentang sistem kontrol *engine* yang dikenal sebagai *Engine Control Unit*. Sistem Kontrol mesin direpresentasikan dengan model *skema, board dan simulasi*. Karena menggunakan Mikrokontroller AVR yang relatif murah sehingga berdampak pada proses produksi yang semakin murah dan harga yang terjangkau meskipun dengan kapabilitas yang tinggi. Dengan didukung system close loop yang memungkinkan sistem kontrol mengkoreksi hasil dari keluaran bahan bakar dari injektor agar ditambah ataupun dikurangi. Pada bagian simulasi hanya membatasi bagian input sensor posisi poros engkol dan cam, lalu untuk aktuator menggunakan injektor.

Pada laporan penelitian ini dilakukan beberapa tahapan dalam perencanaannya yaitu yang pertama pembuatan skema elektrik board pendukung arduino mega rev 3, sekaligus merancang program arduino yang akan dipakai. Lalu, dari skema elektrik dirubah menjadi board yang dapat dicetak agar dapat digunakan dan mengatur board arduino agar dapat beroperasi pada desain mesin yang dikehendaki menggunakan aplikasi tuner studio ms. Setelah keempat tahapan berjalan dilakukan adanya simulasi menggunakan aplikasi NI LabVIEW.

Hasil dari penelitian ini adalah ECU (Electronic Control Unit) yang dibuat berdasarkan arduino mega Rev 3 dengan adanya tambahan rangkaian pengaman untuk pembacaan sensor dan rangkaian aktuator, sekaligus dapat di setting sesuai dengan kebutuhan mesin bensin 4 tak yang digunakan pada simulasi tanpa adanya kendala dengan unjuk kerja mesin bensin 4 langkah yang menggunakan sistem overhead camshaft dan injeksi tidak langsung (injektor terletak berdekatan dengan katup udara masuk) pada simulasi aplikasi NI LabVIEW.

Kata Kunci : *Electronic Control Unit*, Simulasi NI LabVIEW, Perancangan

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

4 STROKE PETROL ENGINE CONTROL SYSTEM DESIGN WITH NI LABVIEW

Name : Reno Murda Pradana
Counselor Lecturer : 1. Hendro Nurhadi, Dipl.-Ing., Ph.D.
2. Ir. Syamsul Hadi, MT

ABSTRACT

This study discusses the engine control system, known as the Engine Control Unit. Engine control system represented by the model scheme, board and simulation. Because using AVR Microcontroller relatively cheap so the impact on the production process increasingly cheap and affordable prices despite the high capability. With the support of close loop system that allows the control system to correct the results of the output of fuel from the injector to be plus or minus. In the simulation only limits the input part crankshaft position sensor and the cam, then intuk actuator using the injector.

In this research report conducted several stages in the plan is the first to manufacture electric scheme board support arduino mega rev 3, while designing arduino program that will be used. Then, from the electric scheme changed to the board which can be printed to be used and set the arduino board in order to operate at the desired engine design using studio tuner applications ms. After four stages of walking done their simulations using NI LabVIEW application.

The result of this research is ECU (Electronic Control Unit) made based on arduino mega Rev 3 with additional safety circuit for sensor readings and actuator circuit, as well as setting in accordance with requirement of 4 tak gasoline engine used in simulation without any constraint with show 4-stroke gasoline engine that uses overhead camshaft system and indirect injection (injector located adjacent to air valve entrance) on simulation of NI LabVIEW application.

Keywords : Electronic Control Unit, NI LabVIEW Simulation, Design

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

KATA PENGANTAR

Bismillaahharrahmaanirrahiim,

Segala puji bagi Allah yang telah memberikan ridlo, rizki, hidayah, dan inayah-Nya kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul

“PERENCANAAN SISTEM KONTROL MESIN BENSIN 4 LANGKAH MENGGUNAKAN APLIKASI NI LABVIEW”

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini, penulis berusaha menerapkan ilmu yang didapat selama menjalani perkuliahan di D3 Teknik Mesin. Keberhasilan dalam penyelesaian tugas akhir ini tidak lepas dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih dan penghargaan setinggi-tingginya kepada :

1. Bapak Hendro Nurhadi, Dipl.-Ing., Ph.D. selaku dosen pembimbing 1, yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikiran untuk memberikan ide, arahan, bimbingan dan motivasi selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Ir. Syamsul Hadi, MT. Selaku dosen pembimbing 2 dan dosen wali yang telah banyak memberikan masukan dan motivasi pada masa studi
3. Bapak Ir. Denny M. E. Soedjono, MT selaku koordinator Tugas Akhir.
4. Bapak Drs. Agus Sutikno dan Ibu Dra. Dyah Tri P. sebagai orang tua serta adik-adik tercinta Wydan Tegar W. dan Nugraha Wira T. yang selalu memberikan doa kesuksesan serta dukungan dalam bentuk apapun.
5. Segenap Bapak/Ibu Dosen Pengajar dan Karyawan di Jurusan D3 Teknik Mesin FTI-ITS, yang telah memberikan banyak ilmu dan pengetahuan selama penulis menuntut ilmu di kampus ITS.
6. Keluarga besar warga D3 Teknik Mesin
7. Seluruh rekan-rekan lab terutama Ardi, Ismah, Andre, Wahyu, Sandro, Luhung, IW, Febby, Agus dkk yang telah banyak membantu dalam pengerjaan tugas akhir ini

8. Rekan-rekan seperjuangan Tugas Akhir dan semua pihak yang telah memberikan bantuan, dukungan, motivasi dan doa kepada penulis selama pengerjaan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari sepenuhnya, bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna, sehingga penulis mengharapkan adanya kritik dan saran dari berbagai pihak, yang dapat mengembangkan Tugas Akhir ini menjadi lebih baik. Akhir kata, semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi pembaca dan mahasiswa, khususnya mahasiswa Program studi D3 Teknik Mesin FTI-ITS.

Surabaya, Juni 2013

Penulis

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	I
HALAMAN JUDUL	II
ABSTRAK	II
ABSTRACT	IV
KATA PENGANTAR	VI
DAFTAR ISI	IX
DAFTAR GAMBAR	XI
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	2
1.5 Sistematika Laporan	3
BAB II TEORI DASAR	5
2.1 Mikrokontroler	5
2.2 <i>Electronic Support Board</i>	5
2.2.2 Resistor	6
2.2.3 Kapasitor	7
2.2.4 Transistor	9
2.2.5 <i>Op-Amp</i>	10
2.3 Mesin Pembakaran Dalam 4 Langkah	12
2.3.1 Dasar Teori Pembakaran	13
2.3.2 Diagram Katup	15
2.4 Jenis Sensor	16
2.5 Sensor pada Mesin	18
2.5.1 Sensor Posisi Poros Engkol dan Cam (digital)	19
2.5.2 Sensor posisi katup gas (analog)	20
2.5.3 Sensor tekanan absolut udara masuk (analog)	20
2.5.4 Temperatur udara dan temperatur oli/air pendingin (analog)	21
2.5.5 Sensor campuran bahan bakar-udara (digital or analog) .	21
2.6 Desain Sistem Pembakaran	24
2.6.1 Injeksi Tidak Langsung	25
2.6.2 Injeksi Langsung	26
BAB III METODOLOGI	31

3.1 Diagram Alir dan Metode Penelitian secara Umum	31
3.2 Diagram Alir <i>Schematic Design</i>	37
3.3 Diagram Alir Desain Board	40
3.4 Diagram Alir <i>Program Arduino</i>	43
3.5 Diagram Alir <i>Simulasi pada Aplikasi NI LabVIEW</i>	31
BAB IV HASIL SIMULASI DAN IMPLEMENTASI	36
4.1 Schematics Board.....	37
4.1.1 Front End.....	38
4.1.2 Driver	42
4.2 PCB Layout.....	44
4.3 Hasil Program Arduino.....	45
4.4 Hasil Simulasi MS Tune.....	48
4.5 Hasil Simulasi NI LabVIEW	51
BAB V PENUTUP	54
5.1 Kesimpulan	54
5.2 Saran	54
DAFTAR PUSTAKA	56
LAMPIRAN	58

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Mikrokontroller (Arduino Mega 2560 Rev 3)	5
Gambar 2.2 (a) Resistor, (b) Simbol sirkuit untuk resistor.....	6
Gambar 2.3 Resistor tetap : (a) wirewound type,.....	6
Gambar 2.4 Resistor tipe Surface-Mount Device (SMD)	7
Gambar 2.5 (a) Simbol variabel resistor umum, (b) Simbol dari potensiometer.	7
Gambar 2.6 konstruksi kapasitor.....	8
Gambar 2.7 (a) simbol dari kapasitor tetap, (b) simbol dari variabel kapasitor.....	8
Gambar 2.8 kapasitor tetap : (a) kapasitor <i>polyester</i> , (b) kapasitor keramik, (c) kapasitor elektrolit. Sumber dari Tech America.....	8
Gambar 2.9 transistor NPN (kiri) dan transistor PNP (kanan)	9
Gambar 2.10 Pergerakan elektron pada transistor NPN (kiri) dan grafik perbandingan antara arus dasar (I_B) dan arus kolektor (I_C).....	10
Gambar 2.11 Operational amplifier sumber dari Tech America.	11
Gambar 2.12 (a) konfigurasi pin, (b) simbol sirkuit.....	11
Gambar 2.13 Siklus motor bensin 4 langkah	12
Gambar 2.14 <i>Thermocouple</i>	17
Gambar 2.15 Sensor Tekanan	17
Gambar 2.16 Sensor cahaya (Photo diode).....	18
Gambar 2.17 <i>Wiring</i> Diagram Sistem Manajemen Mesin	18
Gambar 2.18 Sensor induktif, dan gelombang sebelum dan sesudah ..	19
Gambar 2.19 Gambar penampang sensor oksigen : (1) Penghubung elemen (2) Elemen keramik pelindung (3) Sensor keramik (4) tabung pelindung (5) Kabel (6) Pegas piringan (7) lengan pelindung (8) Kerangka (-) (9) Elektroda (-) (10) Elektroda (+)	22
Gambar 2.20 <i>The universal exhaust gas oxygen (UEGO)</i> sensor :.....	23
Gambar 2.21 Efek turbulensi pada peningkatan operasi mesin bensin (Stone, 1999).	24
Gambar 2.22 Gambar penampang jenis sistem injeksi <i>throttle-body</i> ..	25
Gambar 2.23 Gambar penampang jenis sistem injeksi <i>port</i>	26
Gambar 2.24 Gambar penampang jenis sistem injeksi langsung.....	27
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian Secara Umum.....	32

Gambar 3.2 skema elektrik dari arduino.....	33
Gambar 3.3 ilustrasi Perancangan Program Arduino IDE.....	34
Gambar 3.4 ilustrasi Desain <i>Board</i> dari skema elektrik	34
Gambar 3.5 Contoh Setting Rasio Bahan Bakar dan Jumlah Ruang Bakar.....	35
Gambar 3.6 konfigurasi sensor dan aktuator pada sistem kontrol elektronik pada mesin.....	35
Gambar 3.7 Ilustrasi sistem keluaran bahan bakar yang digunakan dalam perancangan	36
Gambar 3.8 Contoh Simulasi	36
Gambar 3.9 Diagram Alir <i>Schematics Design</i>	38
Gambar 3.10 Cara untuk membuat folder baru sumber : sparkfun.com.....	39
Gambar 3.11 <i>ADD Tool</i>	39
Gambar 3.12 Menu pada <i>Library Eagle</i> , Sumber : sparkfun.com	39
Gambar 3.13 Ilustrasi sebelum disambungkan (kiri) dan sesudah disambungkan (kanan).....	40
Gambar 3.14 Diagram alir Desain <i>Board</i>	41
Gambar 3.15 Lapisan dari PCB	42
Gambar 3.16 Penempatan Komponen pada PCB	42
Gambar 3.17 Penempatan Jalur pada PCB	43
Gambar 3.18 Diagram alir Program Arduino	44
Gambar 3.19 <i>Add-on</i> Program Arduino	45
Gambar 3.20 Program Arduino Induk.....	31
Gambar 3.21 Diagram Alir Simulasi NI LabVIEW	32
Gambar 3.22 Pemilihan <i>Add-on</i> Simulasi NI LabVIEW	33
Gambar 3.23 Parameter Simulasi Sensor RPM	33
Gambar 3.24 Parameter Simulasi Injektor.....	34
Gambar 3.25 Parameter Simulasi Voltase	34
Gambar 4.1 Diagram Blok Alur Kerja Sistem.....	36
Gambar 4.2 Hasil Skema wiring umum pada board	37
Gambar 4.3 Hasil skema wiring power supply pada board	38
Gambar 4.4 Rangkaian untuk sensor posisi kupu-kupu/Throttle.....	39
Gambar 4.5 Rangkaian untuk sensor posisi roda gila dan camshaft	39
Gambar 4.6 Diagram Fungsional IC MAX9926UAEE+	40
Gambar 4.7 Rangkaian <i>Coolant/Oil temperature</i> sensor	40
Gambar 4.8 Rangkaian sensor temperatur udara masuk	41
Gambar 4.9 Rangkaian Sensor Tekanan Udara masuk	41
Gambar 4.10 Rangkaian Sensor Lambda/O ₂	42

Gambar 4.11	Rangkaian Driver Injector	42
Gambar 4.12	Mosfet Driver (Driver Pengapian)	43
Gambar 4.13	Hasil Board Pendukung (atas).....	44
Gambar 4.14	Hasil Board Pendukung	44
Gambar 4.15	Blok Diagram kerja program arduino.....	45
Gambar 4.16	Blok diagram program pengapian	46
Gambar 4.17	Blok diagram program pengapian	47
Gambar 4.18	Pengaturan karakter injektor	48
Gambar 4.19	Pengaturan Koreksi Temperatur Udara masuk	49
Gambar 4.20	Pengaturan Pengapian dalam bentuk tabel	49
Gambar 4.21	Kalkulasi pada www.useasydocs.com	50
Gambar 4.22	Tabel rasio A/F.....	50
Gambar 4.23	Hasil Simulasi ketika kontroller disambungkan	51
Gambar 4.24	Simulasi Voltase masuk.....	51
Gambar 4.25	Simulasi Input dan Output controller (Biru tua: Klep buang, Merah : klep hisap, Hijau : Injektor, Biru muda)	52
Gambar 4.13	Contoh Input dan Output kontroller	53

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan berkembangnya teknologi saat ini, inovasi baru semakin bermunculan, tak terkecuali di bidang system transportasi. Kendaraan dengan perkembangan teknologi terbaru seperti VNT (*Variable Nozzle vane Turbo*) pada mesin Toyota terbaru dapat meningkatkan Tenaga dan Torsi sampai dengan 60%, begitu pula mengurangi konsumsi bahan bakar sampai dengan 30% (https://en.wikipedia.org/wiki/Toyota_Fortuner).

Ditambah lagi dengan meningkatnya pembelian kendaraan baru setiap tahun dibuktikan dengan grafik penjualan Toyota avanza dari tahun 2004 yaitu sebanyak 3661 rata-rata unit/bulan lalu pada tahun 2013 menjadi 17788 rata-rata unit/bulan (http://www.carusermagz.com/2015/12/rekam_jejak_toyota_avanza_mobil_sejuta_umah.html). Karena banyaknya peminat kendaraan bermotor maka kebutuhan konsumsi bahan bakar minyak pun meningkat. Lalu setiap kendaraan yang telah diproduksi sebelumnya belum ada penertiban yang signifikan mengenai hasil dari pembakaran kendaraan tersebut, seperti : karbon monoksida (CO), Nitrogen Monoksida (NO_x), dll. Terlebih dengan kendaraan - kendaraan dengan sistem pengkabutan bahan bakar menggunakan karburator, meskipun ada salah satu produsen yang mengklaim bahwa produknya telah memenuhi standar EURO 3, sistem karburator tetap kurang efektif dalam memenuhi kebutuhan mesin dibandingkan dengan basis Injeksi. Didukung pula saat ini kondisi minyak bumi semakin menurun disamping karena konsumsi juga semakin meningkatnya kebutuhan mobilitas dan volume kendaraan yang setiap tahun semakin meningkat.

Terobosan-terobosan banyak dikomunikasikan seperti mengganti sistem pengkabutan bahan bakar dari karburator ke injeksi ... , mengganti bahan bakar dari minyak ke bahan bakar gas, menambah satu atau beberapa perangkat untuk meningkatkan efisiensi mesin seperti supercharger dan/atau turbocharger pada kendaraan, lalu bermunculan kendaraan dengan fitur hybrid (menggunakan dua sumber tenaga penggerak) menggunakan diesel dan listrik, bensin dan listrik dll, dan banyak lagi yang lain.

Pada tugas akhir ini dibuat Desain sistem manajemen mesin kendaraan (non-stasioner) adaptif dengan drive by wire dan VVT-I.

1.2 Permasalahan

Dari uraian di atas, permasalahan yang muncul pada penelitian ini adalah :

1. Bagaimana perancangan sistem kontrol injeksi pada mesin menggunakan mikrokontroller Arduino Mega Rev 3.
2. Bagaimana perancangan board hardware pendukung Arduino Mega Rev 3.

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah agar permasalahan tidak melebar terlalu luas , yaitu :

1. Desain mesin yang digunakan termasuk didalam TunerStudio MS
2. Aplikasi yang digunakan untuk simulasi board adalah Cadsoft Eagle 7.1.0
3. Aplikasi yang digunakan untuk Simulasi adalah NI LabVIEW 2015
4. Simulasi menggunakan *add-on* pada NI LabVIEW
5. Simulasi terbatas pada input sensor *crankshaft* dan *camshaft*, output terbatas pada penyalan injektor.
6. Aplikasi yang digunakan untuk memprogram Arduino adalah Arduino IDE 1.6.7
7. Aplikasi yang digunakan untuk mensetting sistem injeksi pada mesin adalah TunerStudio MS
8. Menggunakan rangkaian ADC yang sudah ada dalam AT mega 8535 dengan tambahan rangkaian pendukung pada board hardware.
9. Tidak membahas perhitungan elemen mesin, mekanika fluida, proses pembakaran dalam pada simulasi, namun hanya terfokus pada sistem kontrol pada manajemen mesin.

1.4 Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah :

1. Mampu merancang sistem kontrol injeksi pada mesin menggunakan mikrokontroler arduino mega rev 3
2. Mampu merancang board hardware pendukung Arduino Mega Rev 3.

1.5 Sistematika Laporan

Pembahasan laporan penelitian ini akan dibagi menjadi lima Bab dengan sistematika sebagai berikut:

Bab I PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan, manfaat, batasan masalah dan metode penulisan yang dipakai secara umum.

Bab II DASAR TEORI

Bab ini berisi teori-teori yang menunjang pelaksanaan dan pemecahan masalah yang berguna untuk analisa data yang telah diperoleh

Bab III METODOLOGI

Bab ini membahas desain dan diagram alir perancangan algoritma kontrol dari pengujian yang dilakukan dalam penelitian serta alat-alat yang digunakan dalam pelaksanaan pengujian

Bab IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini memuat hasil simulasi dan implementasi serta analisis dari hasil tersebut.

Bab V PENUTUP

Bab ini berisi pernyataan akhir dari uraian kesimpulan dan saran dari hasil pembahasan yang telah diperoleh.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

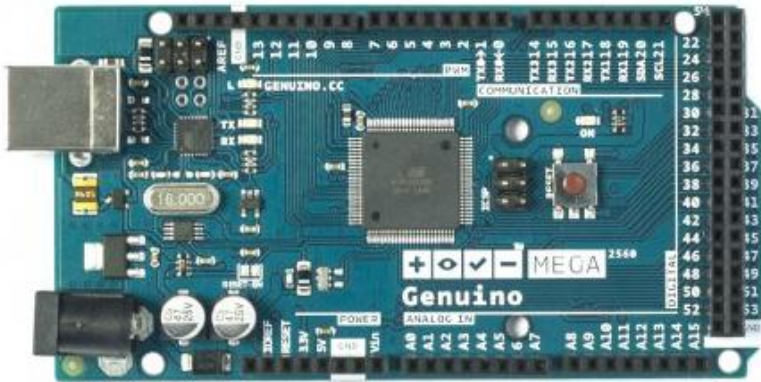
-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Mikrokontroller

Mikrokontroller adalah sebuah sistem komputer fungsional dalam sebuah chip. Di dalamnya terkandung sebuah inti prosesor, memori (sejumlah kecil RAM, memori program, atau keduanya), dan perlengkapan input output.



Gambar 2.1 Mikrokontroller (Arduino Mega 2560 Rev 3)

Dengan kata lain, mikrokontroller adalah suatu alat elektronika digital yang mempunyai masukan dan keluaran serta kendali dengan program yang bisa ditulis dan dihapus dengan cara khusus, cara kerja mikrokontroller sebenarnya membaca dan menulis data.

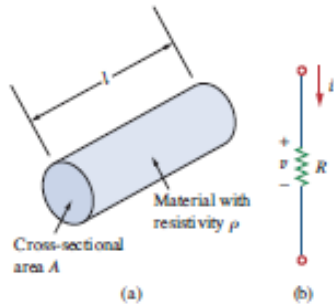
Mikrokontroller adalah sebuah sistem komputer fungsional dalam sebuah chip. Di dalamnya terkandung sebuah inti prosesor, memori (sejumlah kecil RAM, memori program, atau keduanya), dan perlengkapan input output.

2.2 *Electronic Support Board*

Pada bagian ini sangat berperan penting dalam kinerja *Electronic Control* karena banyak berperan penting dalam proses kerja input dari sensor sekaligus output menuju aktuator seperti injector dan koil menuju busi dan sekaligus sebagai *signal conditioner* pada bagian input untuk menstabilkan input dari sensor. Dalam *signal conditioner* terdapat beberapa komponen yang dibutuhkan yaitu :

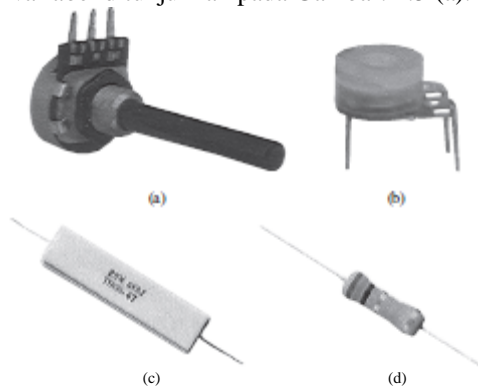
1. Kapasitor
2. Resistor
3. Transistor
4. IC Op-amp (*Operational Amplifier*)

2.2.2 Resistor



Gambar 2.2 (a) Resistor, (b) Simbol sirkuit untuk resistor

Sebuah resistor adalah baik tetap atau variabel. Kebanyakan resistor adalah dari jenis tetap, berarti perlawanan mereka tetap konstan.. Rangkaian simbol pada Gambar. 2.1 (b) adalah untuk resistor tetap. variabel resistor memiliki ketahanan yang dapat disesuaikan. Simbol untuk resistor variabel ditunjukkan pada Gambar. 2.5 (a).

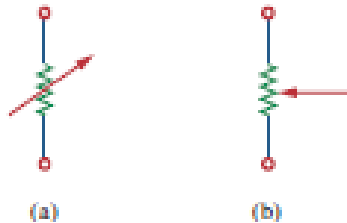


Gambar 2.3 Resistor tetap : (a) wirewound type, (b) carbon film type. Variabel resistor : (a) composition type, (b) slider pot.
Sumber dari Tech America.

Sebuah variabel resistor yang umum dikenal sebagai potensiometer atau pot untuk jangka pendek, dengan simbol yang ditunjukkan pada Gambar. 2.5 (b). Pot adalah elemen tiga terminal dengan kontak geser atau wiper. Dengan menggeser wiper, resistensi antara terminal wiper dan terminal tetap bervariasi. resistor tetap seperti, resistor variabel dapat baik wirewound atau jenis komposisi, seperti ditunjukkan pada Gambar. 2.5. Meskipun resistor seperti yang ada di Gambar. 2.3 dan 2.5 yang digunakan dalam desain sirkuit, saat ini sebagian besar komponen sirkuit termasuk resistor baik permukaan dipasang atau terintegrasi, seperti biasanya ditunjukkan pada Gambar. 2.6.



Gambar 2.4 Resistor tipe Surface-Mount Device (SMD)

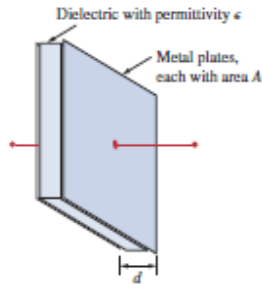


Gambar 2.5 (a) Simbol variabel resistor umum, (b) Simbol dari potensiometer.

2.2.3 Kapasitor

Sebuah kapasitor adalah elemen pasif yang dirancang untuk menyimpan energi di dalam komponennya. Selain resistor, kapasitor adalah komponen listrik yang paling umum. Kapasitor digunakan secara luas dalam alat elektronik, komunikasi, komputer, dan sistem tenaga.

Misalnya, mereka digunakan dalam rangkaian tuning dari penerima radio dan sebagai elemen memori dinamis dalam sistem komputer.



Gambar 2.6 konstruksi kapasitor.

Sebuah kapasitor biasanya dibangun seperti yang digambarkan pada Gambar 2.6. Dalam banyak aplikasi praktis, plat mungkin aluminium foil sementara dielektrik mungkin udara, keramik, kertas, atau mika.



Gambar 2.7 (a) simbol dari kapasitor tetap, (b) simbol dari variabel kapasitor.

Kapasitor tersedia secara komersial dalam nilai-nilai dan jenis yang berbeda. Biasanya, kapasitor memiliki nilai di picofarad (pF) ke berbagai microfarad. Mereka dijelaskan oleh bahan dielektrik mereka terbuat dari dan oleh apakah mereka tipe tetap atau variabel. Gambar 2.7 menunjukkan simbol sirkuit untuk kapasitor tetap dan variabel. Perhatikan bahwa sesuai dengan konvensi tanda pasif, jika dan atau jika dan kapasitor sedang diisi, dan jika kapasitor saat digunakan.

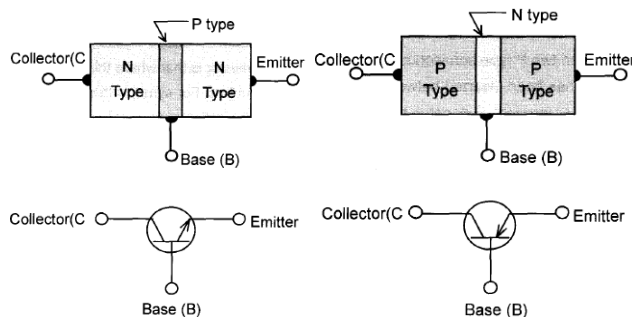


Gambar 2.8 kapasitor tetap : (a) kapasitor *polyester*, (b) kapasitor keramik, (c) kapasitor elektrolit. Sumber dari Tech America.

Gambar 2.8 menunjukkan jenis umum dari kapasitor tetap. kapasitor poliester yang ringan, stabil, dan perubahan mereka dengan suhu diprediksi. Tidak hanya poliester, bahan dielektrik lain seperti mika dan polystyrene dapat digunakan. kapasitor film digulung dan disimpan dalam logam atau plastik film. kapasitor elektrolit menghasilkan kapasitansi yang sangat tinggi. Selain itu, kapasitor digunakan untuk memblokir dc, meneruskan tegangan ac, penggeseran fase, menyimpan energi, mulai motor, dan mengurangi *noise*.

2.2.4 Transistor

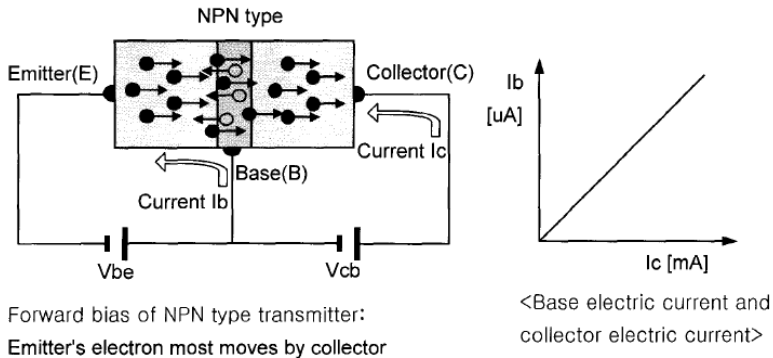
Dilihat dari namanya transistor adalah berfungsi untuk menyalurkan arus listrik yang besar dengan penggerak arus yang kecil. Transistor terdiri dari dua tipe yaitu; tipe transistor PNP adalah dimana lapisan tipe N semiconductor dalam cristal semiconductor telah disisipkan diantara dua semoconductor tipe P sebaliknya transistor tipe NPN adalah lapisan semiconductor tipe P disisipkan diantara dua semikonduktor tipe N. Untuk simbol semikonduktor, dinamakan Eterminal emitter, dinamakan B (Base) dan C (kolektor).



Gambar 2.9 transistor NPN (kiri) dan transistor PNP (kanan)

Transistor NPN

Tipe transistor NPN dihubungkan berlawanan dengan tipe PNP, tetapi pada tipe NPN ini, seperti tampak pada gambar dibawah, sedikit hole disuplai dari kutub positif pada sumber listrik sehingga hal ini dapat membuat sedikit bagian arus pada arus dasar (I_B). dan elektron yang datang dari emitter yang tidak bisa bersatu dengan base hole, bergerak ke sisi collector berkat V_{CB} sehingga membuat arus kolektor (I_C). Umumnya 95% - 98% jumlah arus emitter (I_E) menjadi arus kolektor (I_C) dan sisanya 2% -5% menjadi arus dasar (I_B).



Gambar 2.10 Pergerakan elektron pada transistor NPN (kiri) dan grafik perbandingan antara arus dasar (I_B) dan arus kolektor (I_C)

Transistor PNP

Bila tegangan V_{BE} arah maju diberikan antara emitter dan base, maka potensi penghalang listrik antara permukaan PN junction menjadi rendah. Dan pada tipe P sisi emitter, terdapat banyak hole dihasilkan karena konsentrasi material murni telah di tingkatkan. Dan seperti untuk base sisi N, dikarenakan sisi ini sangat tipis sehingga konsentrasi material murni menjadi lebih rendah, hanya ada beberapa elektron saja. Maka hole-hole dalam emitter melintasi potensial pemisah listrik dan masuk membaaur kemudian lenyap tertimbun komponen yang terdapat pada base electron. Namun dikarenakan beberapa electron tersebut secara terus-menerus mendapat arus negatif "-", maka akan membentuk aliran arus listrik I_B rendah.

Bila tegangan arah balik V_{CB} diberikan diantara base dan kolektor, maka rintangan potensi listrik pada permukaan PN junction ditingkatkan, sehingga arus listrik tidak dapat mengalir antara base dan collector. Hole-hole yang tidak dapat bersatu dengan elektron-elektron pada base tapi dari emitter sekarang bergerak ke sisi collector berkat V_{CB} , hal ini membentuk arus kolektor (I_c). Holes emitter secara bertahap diberikan arus dari kutub positif sehingga arus listrik I_c mengalir pada emitter. Maka arus listrik dalam jumlah besar I_E menjadi I_c tapi sangat kecil porsinya menjadi arus dasar (I_B).

2.2.5 Op-Amp

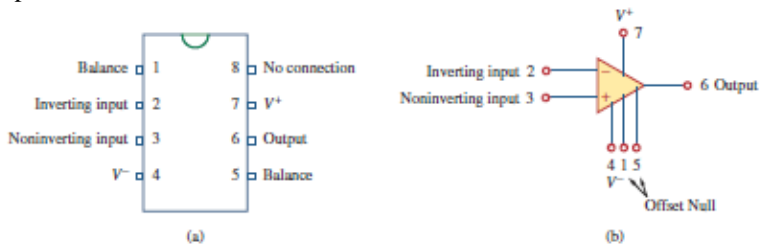
Op-amp adalah blok sirkuit serbaguna, dimana dapat digunakan sebagai pengatur voltase atau arus yang dapat diatur. Op amp dapat

menjumlahkan sinyal, memperkuat sinyal, mengintegrasikannya, atau membedakannya. Ini juga alasan meluasnya penggunaan op amp dalam desain analog.



Gambar 2.11 Operational amplifier sumber dari Tech America.

Op-amp dirancang untuk melakukan beberapa operasi matematika pada saat komponen eksternal, seperti resistor dan kapasitor, yang terhubung ke terminal. Dengan demikian, op amp adalah perangkat elektronik yang terdiri dari susunan kompleks dari resistor, transistor, kapasitor, dan dioda.



Gambar 2.12 (a) konfigurasi pin, (b) simbol sirkuit.

Op amp yang tersedia secara komersial dalam bentuk paket sirkuit terpadu (IC) dalam beberapa bentuk. Gambar 2.11 menunjukkan IC op amp. Lima terminal yang penting adalah :

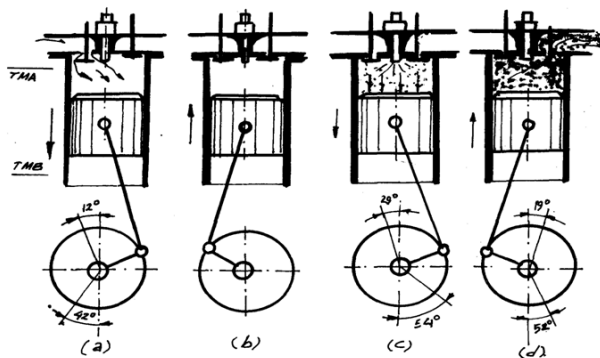
1. Masukan pembalik, pin 2.
2. Noninverting input, pin 3.
3. Output, pin 6.
4. Catu daya positif (V^+), pin 7.
5. Catu daya negatif (V^-), pin 4.

Simbol rangkaian untuk op amp adalah segitiga pada Gambar 2.12 (b), op amp memiliki dua input dan satu output. Input ditandai dengan minus (-) Dan plus (+) Untuk menentukan pembalik dan noninverting input, input diterapkan pada terminal noninverting akan muncul dengan polaritas yang sama pada output, sedangkan input diterapkan pada terminal pembalik akan muncul terbalik pada output.

2.3 Mesin Pembakaran Dalam 4 Langkah

Mesin pembakaran dalam (*Internal Combustion Engine*) adalah mesin kalor yang berfungsi untuk mengkonversikan energi kimia yang terkandung di dalam bahan bakar menjadi energi mekanis dan prosesnya terjadi pada ruang bakar yang tertutup. Energi kimia dalam bahan bakar terlebih dahulu dirubah menjadi energi thermal melalui proses pembakaran. Energi thermal yang di produksi akan menaikkan tekanan yang kemudian menimbulkan efek mekanis yang menggerakkan mesin. Dalam proses pembakaran tersebut bagian – bagian mesin melakukan gerakan berulang yang dinamakan dengan siklus. Setiap siklus yang terjadi di dalam mesin terdiri dari beberapa langkah urutan kerja.

Berdasarkan siklus langkah kerjanya, motor pembakaran dalam dapat diklasifikasikan menjadi motor 2 langkah dan motor 4 langkah. Disini berdasarkan batasan masalah, simulasi yang digunakan adalah mesin 4 langkah.



Gambar 2.13 Siklus motor bensin 4 langkah

Proses siklus motor bensin (Siklus Otto) 4 langkah dilakukan oleh gerak piston dalam silinder tertutup yang bersesuaian dengan pengaturan gerak kerja katup hisap dan katup buang disetiap langkah kerjanya. Proses yang terjadi meliputi, langkah hisap, langkah kompresi, langkah ekspansi, dan langkah buang. Lebih jelasnya dapat diuraikan prinsip kerja dari piston pada gambar sebagai berikut :

- Langkah hisap merupakan langkah dimana piston bergerak dari titik mati atas (TMA) menuju titik mati bawah (TMB). Katub hisap dibuka dan katub buang ditutup, hal ini menyebabkan terjadinya tekanan negative atau vacuum dalam silinder,

- selanjutnya campuran bahan bakar dan udara terhisap melalui katup hisap yang terbuka karena adanya tekanan vacum di silinder dan mengisi ruang silinder.
- b. Langkah kompresi merupakan langkah dimana piston bergerak dari titik mati bawah (TMB) menuju titik mati atas (TMA). Katup hisap dan katub buang tertutup. Pada proses ini campuran bahan bakar dan udara ditekan atau dikompresi, akibatnya tekanan dan temperaturnya naik sehingga akan memudahkan proses pembakaran
 - c. Langkah ekspansi atau langkah kerja merupakan dimana piston bergerak dari titik mati atas (TMA) menuju titik mati bawah (TMB). Katub hisap dan katub buang masih tertutup sesaat piston menjelang titik mati atas, busi pijar menyalakan percikan api seketika campuran bahan bakar dan udara terbakar secara cepat berupa ledakan. Dengan terjadinya ledakan, maka menghasilkan tekanan sangat tinggi untuk mendorong piston kebawah, sebagai tenaga atau usaha yang dihasilkan mesin.
 - d. Langkah buang merupakan langkah dimana piston bergerak dari titik mati bawah (TMB) menuju ke titik mati atas (TMA) dengan katup buang terbuka dan katup hisap tertutup. Pada proses ini gas yang telah terbakar dibuang oleh dorongan piston keatas dan selanjutnya mengalir melalui katup buang. Pada proses ini poros engkol telah berputar dua kali putaran penuh dalam satu siklus dari empat langkah.

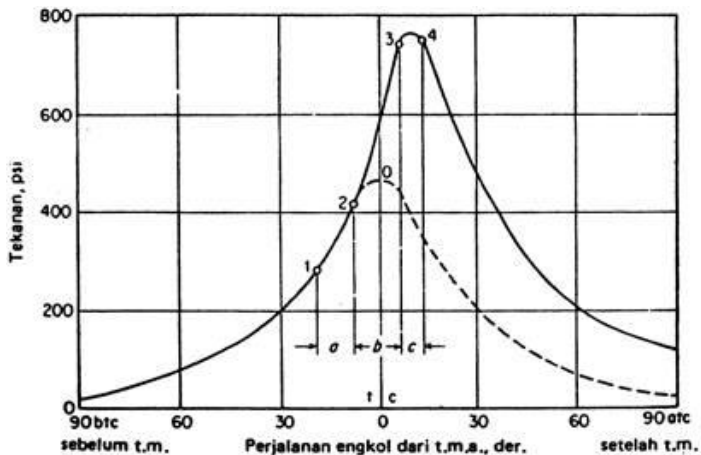
2.3.1 Dasar Teori Pembakaran

Secara umum pembakaran didefinisikan sebagai reaksi kimia atau reaksi persenyawaan bahan bakar oksigen (O_2) sebagai oksidan dengan temperaturnya lebih besar dari titik nyala. Mekanisme pembakarannya sangat dipengaruhi oleh keadaan dari keseluruhan proses pembakaran dimana atom-atom dari komponen yang dapat bereaksi dengan oksigen yang dapat membentuk produk yang berupa gas. (Sharma, S.P, 1978). Untuk memperoleh daya maksimum dari suatu operasi hendaknya komposisi gas pembakaran dari silinder (komposisi gas hasil pembakaran) dibuat seideal mungkin, sehingga tekanan gas hasil pembakaran bisa maksimal menekan torak dan mengurangi terjadinya detonasi. Komposisi bahan bakar dan udara dalam silinder akan menentukan kualitas pembakaran dan akan berpengaruh terhadap performance mesin dan emisi gas buang. Sebagaimana telah diketahui bahwa bahan bakar bensin mengandung unsur-unsur karbon dan

hidrogen. Terdapat 3 (tiga) teori mengenai pembakaran hidrogen tersebut yaitu :

- Hidrokarbon terbakar bersama-sama dengan oksigen sebelum karbon bergabung dengan oksigen.
- Karbon terbakar lebih dahulu daripada hidrogen.
- Senyawa hidrokarbon terlebih dahulu bergabung dengan oksigen dan membentuk senyawa (hidrolisis) yang kemudian dipecah secara terbakar. (Yaswaki, K, 1994).

Dalam mesin terjadi beberapa tingkatan pembakaran yang digambarkan dalam sebuah grafik dengan hubungan antara tekanan dan perjalanan poros engkol.



Gambar 2.14 Tingkat pembakaran dalam sebuah mesin(Maleev.V.L, 1995)

Proses atau tingkatan pembakaran dalam sebuah mesin terbagi menjadi empat tingkat atau periode yang terpisah. Periode-periode tersebut adalah :

1. Keterlambatan pembakaran (*Delay Period*)

Periode pertama dimulai dari titik 1 yaitu mulai disemprotkannya bahan bakar sampai masuk kedalam silinder, dan berakhir pada titik 2. perjalanan ini sesuai dengan perjalanan engkal sudut a. Selama periode ini berlangsung tidak terdapat kenaikan tekanan yang melebihi kompresi udara yang dihasilkan

oleh torak, dan selanjutnya bahan bakar masuk terus menerus melalui nosel.

2. Pembakaran cepat

Pada titik 2 terdapat sejumlah bahan bakar dalam ruang bakar, yang dipecah halus dan sebagian menguap kemudian siap untuk dilakukan pembakaran. Ketika bahan bakar dinyalakan yaitu pada titik 2, akan menyala dengan cepat yang mengakibatkan kenaikan tekanan mendadak sampai pada titik 3 tercapai. Periode ini sesuai dengan perjalanan sudut engkol b. yang membentuk tingkat kedua.

3. Pembakaran Terkendali

Setelah titik 3, bahan bakar yang belum terbakar dan bahan bakar yang masih tetap disemprotkan (diinjeksikan) terbakar pada kecepatan yang tergantung pada kecepatan penginjeksian serta jumlah distribusi oksigen yang masih ada dalam udara pengisian. Periode inilah yang disebut dengan periode terkendali atau disebut juga pembakaran sedikit demi sedikit yang akan berakhir pada titik 4 dengan berhentinya injeksi. Selama tingkat ini tekanan dapat naik konstan ataupun turun. Periode ini sesuai dengan perjalanan poros engkol sudut c, dimana sudut c tergantung pada beban mesin, semakin besar bebannya semakin besar c.

4. Pembakaran pasca (*after burning*)

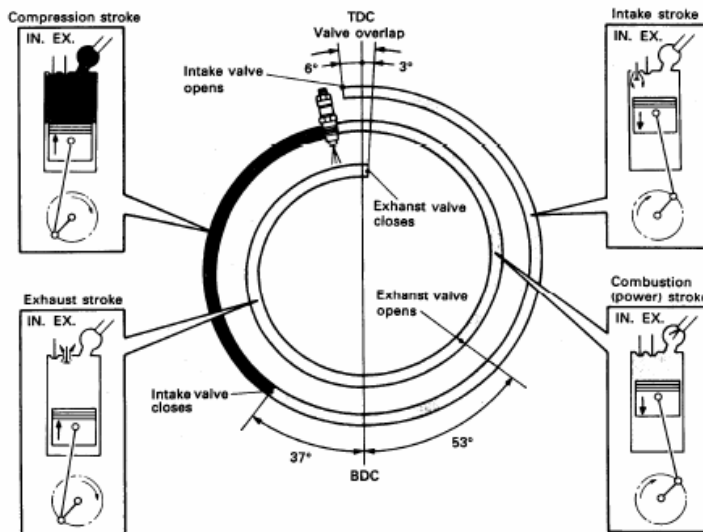
Bahan bakar sisa dalam silinder ketika penginjeksian berhenti dan akhirnya terbakar. Pada pembakaran pasca tidak terlihat pada diagram, dikarenakan pemunduran torak mengakibatkan turunnya tekanan meskipun panas panas ditimbulkan oleh pembakaran bagian akhir bahan bakar.

2.3.2 Diagram Katup

Secara teori tentang cara kerja motor empat langkah katup dianggap membuka dan menutup tepat pada posisi TMA dan TMB. Tetapi pada posisi yang sebenarnya tidak demikian, kedua katup membuka lebih awal dan menutup lebih lambat. Katup hisap membuka sebelum TMA dan menutup sesudah TMB, dan katup buang membuka sebelum TMB dan menutup sesudah TMA. Hal ini diperlukan untuk memberikan waktu yang cukup untuk memasukkan atau mengeluarkan muatan silinder (gas baru atau gas bekas sisa pembakaran).

Untuk melihat secara nyata bagaimana kerja mekanisme katup secara utuh adalah sulit, untuk memudahkannya dapat dibuat dalam satu

diagram. Dengan diagram dapat dijelaskan kapan katup mulai membuka dan menutup, mekanisme diatas sedemikian rupa sehingga seluruh proses berjalan dengan tepat dan cepat. Lama kerja katup (valve timing) ditentukan oleh bentuk nok (bubungan) *camshaft*. Bila diagram katup berubah misalnya akibat celah katup tidak sesuai, hal ini akan mempengaruhi unjuk kerja motor. Berikut merupakan ilustrasi diagram katup :



Gambar 2.15 Diagram katup mesin 4 tak

2.4 Jenis Sensor

Sensor adalah transduser yang berfungsi untuk mengolah variasi gerak, panas, cahaya atau sinar, magnetis, dan kimia menjadi tegangan serta arus listrik. Sensor sendiri adalah komponen penting pada berbagai peralatan. *Transduser* sendiri memiliki arti mengubah, resapan dari bahasa latin traducere. Bentuk perubahan yang dimaksud adalah kemampuan merubah suatu energi kedalam bentuk energi lain. Energi yang diolah bertujuan untuk menunjang daripada kinerja piranti yang menggunakan sensor itu sendiri. Sensor sendiri sering digunakan dalam proses pendeteksi untuk proses pengukuran.

Sensor Secara umum berdasarkan fungsi dan penggunaannya sensor dapat dikelompokkan menjadi 3 bagian yaitu: sensor thermal (panas) sensor mekanis sensor optik (cahaya).

1. Sensor suhu adalah sensor yang digunakan untuk mendeteksi gejala perubahan panas/ temperatur/ suhu pada suatu dimensi benda atau dimensi ruang tertentu. Contoh : *Bimetal, Thermistor, Thermocouple, RTD, Phototransistor, Photodiode, Photomultiplier, Photovoltaik, Infraredpyrometer, Hygrometer*, dsb.



Gambar 2.14 *Thermocouple*

2. Sensor mekanis adalah sensor yang mendeteksi perubahan gerak mekanis, seperti perpindahan atau pergeseran atau posisi, gerak lurus dan melingkar, tekanan, aliran, level dsb. Contoh : *Strain Gauge, Linear Variable Diferential Transformer (LVDT), Proximity, Accelerometer, Potensiometer, Load Cell, Bourdon Tube*, dsb.



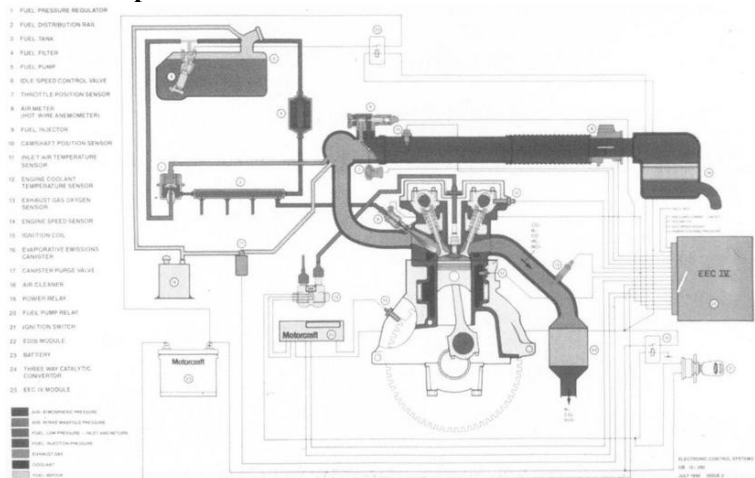
Gambar 2.15 Sensor Tekanan

3. Sensor optik atau cahaya adalah sensor yang mendeteksi perubahan cahaya dari sumber cahaya, pantulan cahaya ataupun bias cahaya yang mengenai benda atau ruangan. Contoh : *Photo Cell, Photo Transistor, Photo Diode, Photo Voltaic, Photo Multiplier, Pyrometer Optic*, dsb.



Gambar 2.16 Sensor cahaya (Photo diode)

2.5 Sensor pada Mesin



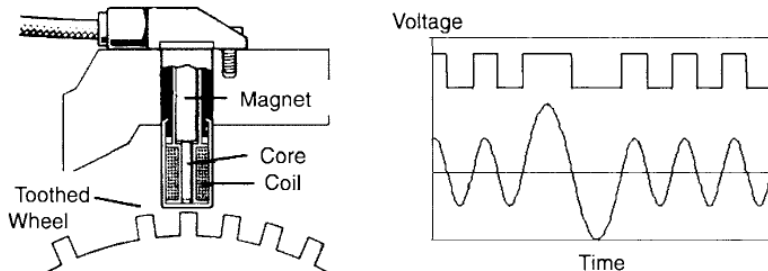
Gambar 2.17 Wiring Diagram Sistem Manajemen Mesin

Sensor yang biasa dipakai akan dijelaskan dibawah, dengan teknologi yang biasanya dipakai pada mesin standar dan sinyal apa yang ditransmisikan (analog atau digital).

- Sensor posisi poros engkol (digital)
- Sensor posisi poros cam (digital)
- Sensor posisi katup gas (analog)
- Sensor tekanan absolut udara masuk (analog)
- Temperatur udara (analog)
- Sensor temperatur (analog)
- Sensor campuran bahan bakar-udara (digital or analog)

2.5.1 Sensor Posisi Poros Engkol dan Cam (digital)

Gambar 2.5 menjelaskan tentang pengambilan sinyal induktif dan menghasilkan output analog. Medan magnet dihasilkan dari magnet melewati inti besi dari kumparan. Kekuatan dari medan magnet tergantung dari seberapa besar induktansi magnet yang tersisa dari arus listrik. in the remainder of the magnetic circuit. Ketika gigi pada roda gigi sejajar dengan sensor, medan magnet akan kuat, sebagaimana medan magnet yang ada pada mesin. Sebaliknya, ketika ada celah udara yang sejajar dengan inti, medan magnet akan lebih lemah, dan ketika ada kesenjangan besar (karena gigi yang hilang), medan magnet akan sangat lemah. Tegangan yang dihasilkan oleh kumparan sebanding dengan tingkat perubahan dalam kekuatan medan magnet; dengan demikian, ketika gigi yang hilang melewati sensor, akan ada peningkatan baik amplitudo dan periode. Sinyal analog menerima sinyal untuk memberikan pulsa tegangan konstan. Begitu pula, lebih cepat mesin, semakin tinggi amplitudo pulsa.



Gambar 2.18 Sensor induktif, dan gelombang sebelum dan sesudah pengkondisian sinyal. Diadaptasi dari Lernbke (1988)

Referensi pulsa menyediakan sistem manajemen mesin dengan posisi crankshaft secara langsung, dan pulsa durasi yang lebih singkat memberikan informasi posisi mesin dan kecepatan. Pulsa dapat diumpankan ke sirkuit yang menghasilkan pulsa pada frekuensi yang lebih tinggi yang merupakan kelipatan dari frekuensi dasar (mengabaikan gigi yang hilang). Pulsa dapat dihasilkan setiap derajat sudut poros engkol, yang lebih halus dari jarak gigi pada roda gigi. Sensor poros engkol dapat membaca apakah sebuah silinder acuan di posisi udara masuk atau stroke kompresi/ekspansi, karena informasi posisi yang akurat berasal dari poros engkol, tak terkecuali juga digunakan sebagai bagian dari sistem kontrol variabel valve timing.

Informasi dari Sensor posisi poros engkol dapat digunakan referensi untuk mengontrol dibawah ini :

- Waktu Pengapian
- Waktu Penyalaan Koil Pengapian
- Waktu Mulai Injeksi
- Merubah Profil Cam (contoh, pada sistem Honda VTEC)

2.5.2 Sensor posisi katup gas (analog)

Informasi posisi throttle dikirimkan oleh potensiometer untuk memberikan informasi pada mesin, beban yang diinginkan oleh pengemudi. Dalam kasus hubungan langsung antara pedal gas dan *throttle*, potensiometer memberikan informasi langsung tentang perubahan permintaan, bahkan sebelum ada perubahan dalam laju aliran udara. Dalam kasus sistem *drive-by-wire*, pedal gas terhubung ke potensiometer, dan ini menginformasikan sistem manajemen mesin dari pengemudi. Sensor potensiometer kemudian memberikan umpan balik ke aktuator dan sistem manajemen mesin.

Informasi langsung dari *throttle* penting karena memungkinkan strategi yang akan diterapkan untuk mengendalikan bahan bakar. Karena perubahan kecil dalam posisi throttle memiliki dampak yang besar pada aliran udara ketika throttle mulai membuka, katup kontrol kecepatan idle memungkinkan aliran udara untuk mengambil jalur memotong dari pelat throttle, untuk memberikan kontrol kecepatan idle.

2.5.3 Sensor tekanan absolut udara masuk (analog)

Tekanan udara masuk dapat diukur dengan transduser piezo-resistif terdiri dari diafragma silikon yang memiliki pengukur regangan terukir ke permukaan. Pengkondisian sinyal (berdasarkan sebuah jembatan Wheatstone) diintegrasikan ke transduser, sehingga tegangan

sinyal besar dibandingkan dengan kebisingan latar belakang. Satu sisi transduser harus tertutup rapat untuk memastikan bahwa tekanan diukur memang tekanan absolut (yaitu, tidak relatif terhadap tekanan ambient). Kecepatan mesin, suhu udara, dan tekanan absolut berjenis memungkinkan perkiraan harus dibuat dari laju aliran massa ke dalam mesin. Bila ini dibandingkan dengan laju aliran massa udara, adalah mungkin untuk menyimpulkan tingkat resirkulasi gas buang. Sebuah alternatif untuk transducer piezo-resistif adalah ketika perpindahan dari diafragma disimpulkan oleh perubahan kapasitansi relatif terhadap elektroda stasioner.

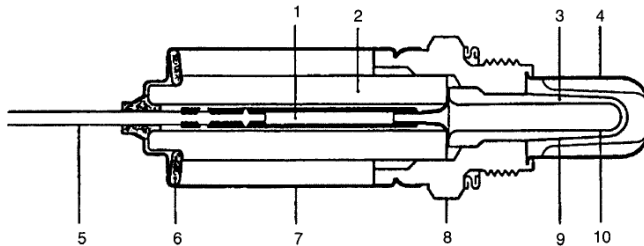
2.5.4 Temperatur udara dan temperatur oli/air pendingin (analog)

Suhu yang nyaman diukur dengan termistor. Ini adalah perangkat semikonduktor yang memiliki ketahanan yang jatuh cepat dengan meningkatnya suhu. Mereka yang murah, dan koefisien suhu tinggi resistensi memungkinkan sinyal yang akan dihasilkan dengan rasio yang baik dari sinyal terhadap kebisingan. Mereka memiliki ketergantungan suhu nonlinear, tetapi ini mudah linierisasi dengan daya komputasi yang tinggi dalam unit kontrol elektronik.

2.5.5 Sensor campuran bahan bakar-udara (digital or analog)

operasi stoikiometri dapat ditentukan dari sensor lambda (Gambar 3.23.); Namun, sensor oksigen yang lebih canggih diperlukan untuk mengukur rasio udara-bahan bakar. Ketika katalis tiga-cara yang akan digunakan, adalah penting untuk menggunakan sistem umpan balik menggabungkan sensor tersebut untuk mempertahankan rasio udara-bahan bakar yang dalam waktu kurang lebih 1% dari stoikiometri. Oksigen atau lambda sensor telah dijelaskan oleh Wiedenmann et al. (1984). Satu elektroda terkena udara, dan elektroda lainnya terkena gas buang. Perbedaan tekanan parsial oksigen menyebabkan perbedaan tegangan yang berhubungan dengan perbedaan tekanan parsial. Karena elektroda platinum juga bertindak sebagai katalis untuk gas buang, maka untuk rasio udara-bahan bakar kaya atau stoikiometri, ada output tinggi dari sensor lambda (tepat di bawah 1 V) karena tekanan parsial oksigen akan banyak pesanan besarnya lebih rendah daripada udara. Dengan campuran yang lemah, tegangan jatuh ke urutan 0,1 V. Elektroda platinum didepositkan pada zirkonia (ZrO_2) distabilisasi dengan yttrium oksida. Pada suhu tinggi, zirkonia bertindak sebagai elektrolit padat untuk ion oksigen (O_2), sehingga membuat perbedaan tegangan antara dua elektroda. Mengukur tegangan akan menyebabkan aliran elektron

dalam rangkaian pengukuran ke dan dari elektroda, dan sirkuit ini dilengkapi dengan aliran ion oksigen melalui zirkonia.



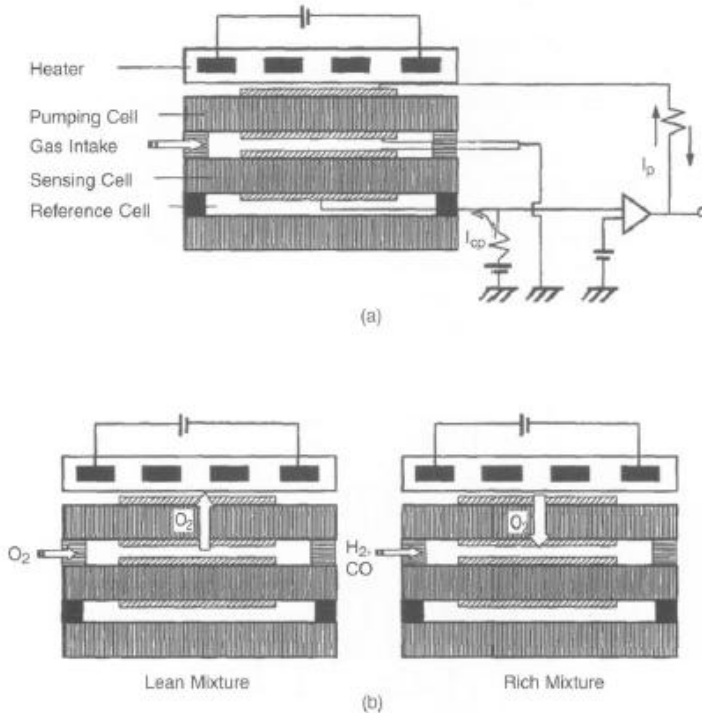
Gambar 2.19 Gambar penampang sensor oksigen : (1) Penghubung elemen (2) Elemen keramik pelindung (3) Sensor keramik (4) tabung pelindung (5) Kabel (6) Pegas piringan (7) lengan pelindung (8) Kerangka (-) (9) Elektroda (-) (10) Elektroda (+)

Karena sensor yang digunakan dengan fungsi yang memutuskan apakah campuran kaya atau lemah, sistem kontrol yang dibutuhkan yang membuat rasio udara-bahan bakar berada di sekitar stoikiometri. Karena sensor lambda akan bekerja hanya ketika telah mencapai suhu sekitar 300°C (572°F), sistem kontrol umpan balik ini hanya dapat digunakan setelah mesin sudah mulai hangat. Waktu pemanasan dapat dikurangi dengan penambahan elemen pemanas listrik di pusat sensor, dan dapat mengurangi waktu pemanasan (20-30 detik).

Untuk kontrol mesin pembakaran miskin, perlu untuk mengevaluasi tekanan parsial oksigen (sebagai lawan memutuskan apakah atau tidak ada oksigen), dan ini menyebabkan pengembangan sensor oksigen gas buang yang universal (UEGO-kadang diawali dengan H karena sensor menggunakan pemanas).

Gambar 2.8 menunjukkan sensor UEGO, yang digunakan adalah sepasang sensor lambda, dibangun dari tiga lapisan zirkonia. Semua lapisan dipanaskan, tetapi hanya atas dua lapisan yang memiliki elektroda platinum dan sambungan listrik. Sensor UEGO beroperasi dengan menjaga oksigen yang rendah tekanan pada keadaan konstan dalam rongga antara sel penginderaan dan sel memompa. Seluruh perakitan dipanaskan untuk menjaga suhu konstan karena tegangan oksigen respon tekanan parsial tergantung suhu. Sel penginderaan mengukur tekanan parsial oksigen, dan saat ini dikenakan pada sel memompa berusaha untuk mempertahankan tekanan parsial oksigen

yang konstan di rongga pengukuran antara sel penginderaan dan sel pemompa.

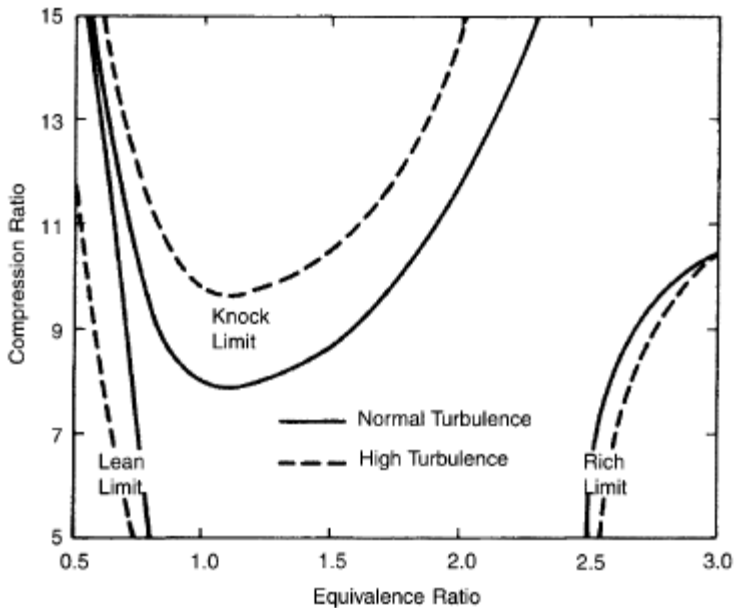


Gambar 2.20 *The universal exhaust gas oxygen (UEGO) sensor :*
(A) struktur, dan (3) operasi (Zhao dan Ladommatos, 2001).

Ketika campuran lemah hadir, gradien konsentrasi antara gas buang dan rongga pengukuran akan menyebabkan oksigen berdifusi melalui pori-pori, dan arus listrik dalam sel memompa (yang menghapus oksigen) akan sebanding dengan konsentrasi oksigen dalam gas buang. Ketika campuran kaya, hasil dari pembakaran (CO , H_2 , dan hidrokarbon) masuk ke dalam rongga pengukuran dan akan teroksidasi, sehingga menyebabkan peningkatan kecepatan difusi melalui pori-pori. Semakin kaya campuran, semakin besar laju alir reaktan menyebar ke dalam rongga pengukuran, dan semakin besar arus dalam sel memompa yang menambahkan oksigen (untuk mempertahankan tingkat oksigen

yang konstan), sehingga hasil yang terjadi akan sebanding dengan kondisi pada knalpot.

2.6 Desain Sistem Pembakaran



Gambar 2.21 Efek turbulensi pada peningkatan operasi mesin bensin (Stone, 1999).

Banyak desain dari ruang pembakaran apakah kinerja yang dihasilkan lebih efisien. Pertimbangan utama adalah sebagai berikut :

- Jarak api saat menyala harus diminimalkan.
- Katup buang dan busi harus dekat.
- Harus ada turbulensi yang cukup.
- Akhir dari campuran udara-bahan bakar harus pada sisi yang paling rendah dari ruang pembakaran.
- Sistem yang dibuat harus mudah untuk manufaktur dan tidak rentan terhadap toleransi manufaktur.

Turbulensi akan terjadi selama langkah pemasukan udara dengan aliran tinggi melewati katup inlet, tapi turbulensi berkurang selama langkah kompresi. Jika *barrel swirl* (sumbu rotasi tegak lurus ke arah

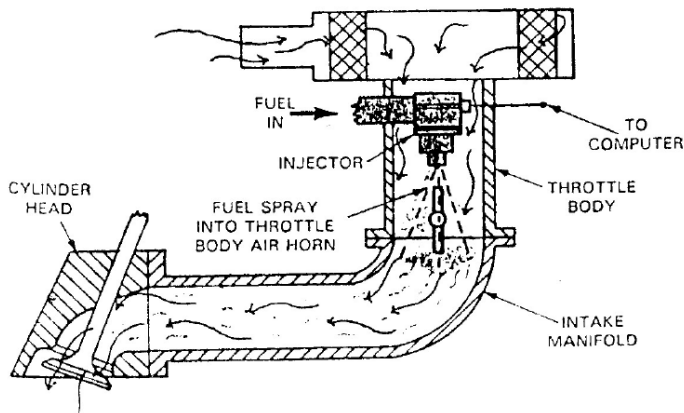
sumbu silinder) hadir, kemudian aliran akan menurun berubah menjadi turbulensi sebagaimana piston bergerak menuju titik mati atas (TDC).

Gambar 2.9 menunjukkan keuntungan dari turbulensi, dengan peningkatan waktu pembakaran dan Peningkatan margin *knock*.disini peningkatan waktu pembakaran menyebabkan pembakaran berpusat di sekitar titik mati atas, ketika tekanan silinder dan suhu yang tinggi. Margin *knock* mengalami peningkatan karena waktu pembakaran yang lebih singkat dengan meningkatkan turbulensi akan tercapai sebelum ada waktu untuk campuran yang tidak terbakar untuk menyala sendiri.

Ada dua jenis dasar dari mesin bensin yang pertama, injeksi pada saluran masuk udara dan kedua, injeksi langsung, yang akan dibahas dalam Bagian 2.5.2.

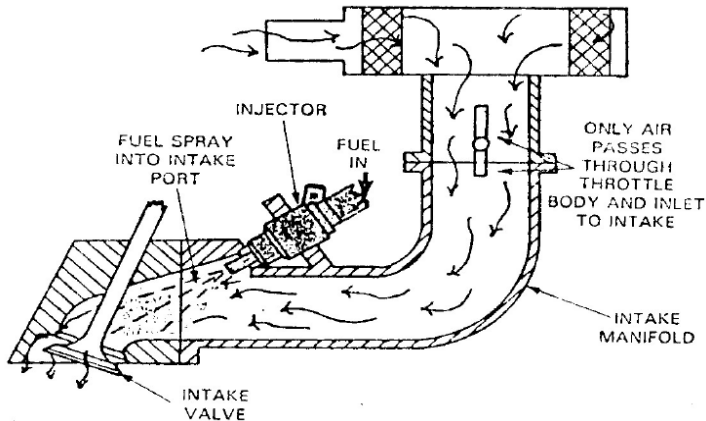
2.6.1 Injeksi Tidak Langsung

Sistem injeksi tidak langsung yang paling umum digunakan adalah jenis *throttle-body* dan *port injection*. Dimana ada satu atau beberapa injector dalam satu mesin, sebagai contoh biasanya untuk mengurangi biaya produksi produsen menggunakan jenis *throttle-body injection* karena hanya menggunakan 1 sampai 2 injektor dalam satu mesin. Berbeda halnya dengan jenis *port injection* yang harus menggunakan satu injektor tiap silinder sehingga dengan meningkatnya jumlah silinder semakin meningkat pula pengeluaran yang dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan sistem tersebut.



Gambar 2.22 Gambar penampang jenis sistem injeksi *throttle-body*

Karena mesin dapat menggunakan satu *throttle body* dalam beberapa silinder, sehingga injektor akan menyala terus menerus mengeluarkan bahan bakar tergantung dengan beban, putaran mesin, kecepatan udara masuk dan logika kontrol yang digunakan.



Gambar 2.23 Gambar penampang jenis sistem injeksi *port*

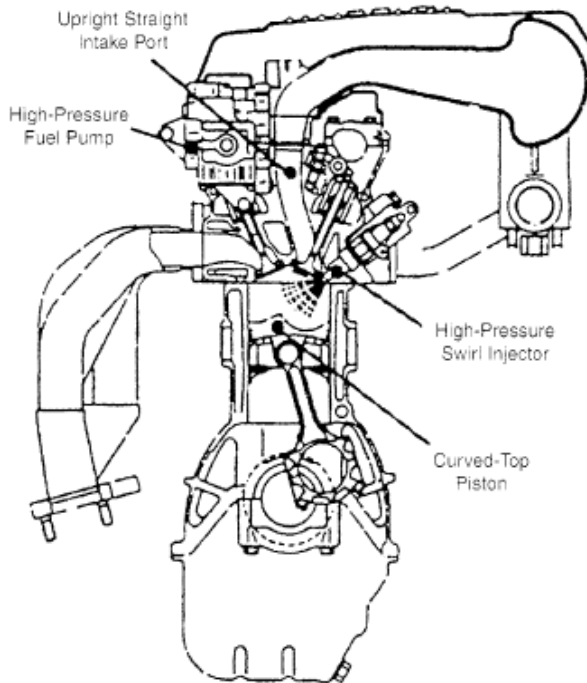
Pada sistem injeksi *port*, injektor biasanya dipasang pada intake manifold atau pada posisi head silinder dari salah satu silinder dari mesin. Pada intinya sama dengan sistem injeksi *throttle-body* tetapi letak dari keluaran bahan bakar berada dekat dengan katup masuk dari silinder seperti yang diilustrasikan pada gambar 2.11. Karena satu silinder memerlukan minimal satu injektor untuk beroperasi, sistem ini akan lebih mahal daripada sebelumnya, sekaligus lebih sesuai kebutuhannya karena injektor tidak mengeluarkan bahan bakar secara simultan tetapi sesuai dengan permintaan tiap silinder.

2.6.2 Injeksi Langsung

Mesin dengan injeksi langsung memiliki potensi untuk mencapai output tertentu dari mesin bensin, tetapi dengan ekonomi bahan bakar yang dikatakan sebanding dengan mesin diesel. Mitsubishi adalah produsen pertama yang memperkenalkan mesin injeksi langsung di mobil modern (Ando 1996), dan Gambar. 2.12 menunjukkan beberapa detail dari sistem udara dan penanganan bahan bakar. *Injection spark* mesin langsung pengapian beroperasi pada stoikiometri dekat beban penuh, dengan injeksi awal (selama induksi) untuk mendapatkan campuran nominal homogen. Hal ini memberikan efisiensi volumetrik

yang lebih tinggi (sekitar 5%) dibandingkan dengan sistem injeksi *port* disuntikkan mesin karena setiap pendinginan melalui penguapan hanya mengurangi suhu udara, bukan port inlet maupun komponen mesin lainnya. Selain itu, pendinginan yang lebih besar dari udara berarti bahwa pada akhir kompresi, suhu gas akan menjadi sekitar 30 K lebih rendah, dan rasio kompresi yang lebih tinggi dapat digunakan (1 atau 2 rasio) tanpa timbulnya *knocking*. Dengan demikian, mesin menjadi lebih efisien.

Sebaliknya, di bagian beban dan kecepatan rendah, mesin injeksi langsung beroperasi dengan injeksi selama langkah kompresi. Hal ini memungkinkan campuran yang bertingkat, sehingga campuran yang mudah terbakar terbentuk di wilayah busi tapi rasio udara-bahan bakar secara keseluruhan lemah (dan katalis threeway beroperasi dalam mode oksidasi). Namun, untuk menjaga hasil dari emisi NOx rendah, perlu berhati-hati dengan cara skala campuran bertingkat.



Gambar 2.24 Gambar penampang jenis sistem injeksi langsung

Mesin mitsubishi dapat beroperasi dalam mode bertingkat dengan rasio udara-bahan bakar di kisaran 30 sampai 40. Dalam kondisi homogen, mesin sebagian besar beroperasi di stoikiometri. Dengan campuran yang lemah, rasio udara-bahan bakar harus cukup miskin untuk mengendalikan emisi NOx agar tidak membutuhkan katalis pada knalpot. Hasil yang bagus pada mesin tergantung pada keselarasan aliran udara di silinder dengan injeksi bahan bakar. Putaran terbalik (searah jarum jam pada gambar 2.12, arah yang berlawanan dengan mesin konvensional) harus sesuai dengan injeksi bahan bakar. Injektor bahan bakar dekat katup inlet (untuk menghindari katup exhaust dan suhu tinggi), dan semprotan bahan bakar terbalik bergerak menuju busi, setelah bersinggungan dengan rongga piston. Injektor pada mesin Mitsubishi beroperasi pada tekanan sampai 50 bar dengan geometri pembangkit putaran yang membantu untuk mengurangi ukuran tetesan, sehingga memfasilitasi penguapan.

Untuk pengeluaran berlapis, bahan bakar diinjeksikan selama awal proses kompresi, bila tekanan silinder dalam kisaran 3-10 bar. Kerapatan udara lebih tinggi membuat semprotan kurang divergen dibandingkan dengan operasi homogen, yang mengeluarkan bahan bakar ketika tekanan gas sekitar 1 bar. Semakin besar perbedaan pada semprotan dengan injeksi awal membantu agar homogen.

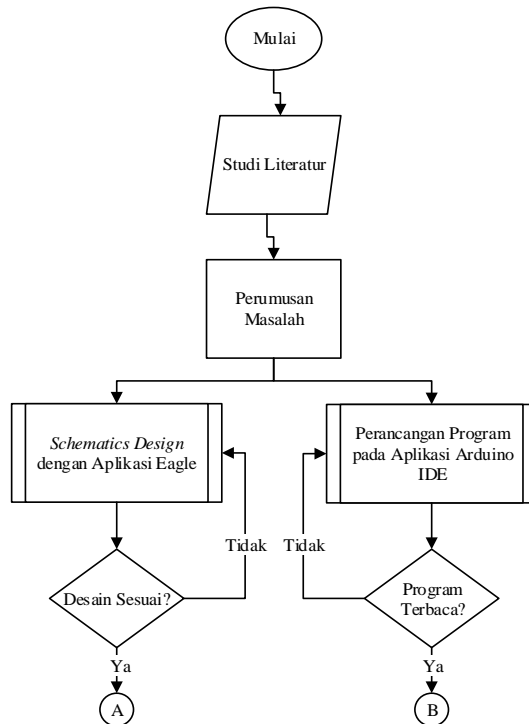
-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

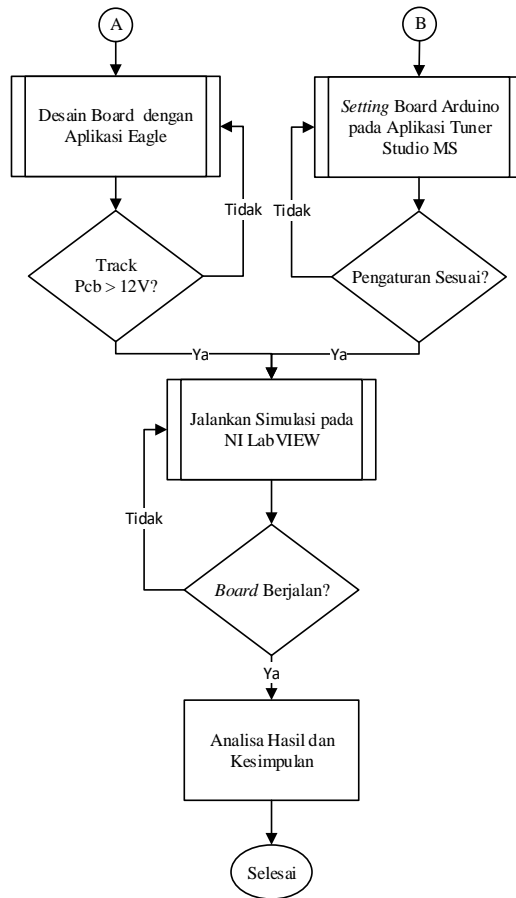
BAB III METODOLOGI

Dikarenakan keterbatasan kemampuan manufaktur dan ketersediaan IC yang dibutuhkan maka penelitian ini menggunakan metode simulasi dengan software NI LabVIEW 2015. Pada metode ini terdapat beberapa tahapan yang harus dilakukan, antara lain : *Preprocessing*, *Processing*, dan *Postprocessing*

3.1 Diagram Alir dan Metode Penelitian secara Umum

Berikut ini adalah metode penelitian yang dipakai dalam analisa karakteristik sistem kontrol engine :





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian Secara Umum

Mulai

Meliputi penentuan judul dan materi dari dosen pembimbing dan materi dari dosen pembimbing yang berasal dari materi penelitian sebelumnya kemudian mencari referensi mengenai sistem kontrol *engine* dengan jenis sensor-sensornya, sistem kontrol menggunakan arduino mega 2560 R3, sistem instrumentasi pendukung berikut komponennya, lalu mencari dan mendownload aplikasi NI LabVIEW 2015

Studi Literatur

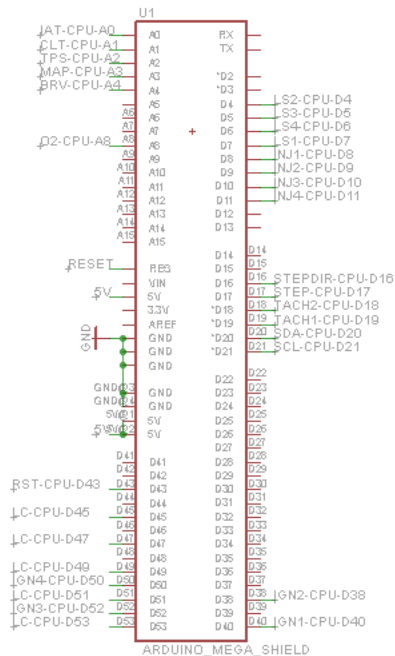
Mencari data dan literatur yang ada untuk mempelajari sistem kontrol engine dengan jenis-jenis sensornya, sistem kontrol menggunakan arduino mega 2560 R3, sistem instrumentasi pendukung dengan komponen-komponennya, lalu mencari cara penggunaan aplikasi NI LabVIEW 2015 melalui media cetak maupun elektronik.

Perumusan Masalah

Merumuskan masalah bahwa dibutuhkan penelitian untuk mendesain sistem kontrol *engine* dengan *microcontroller* Arduino Mega 2560 Rev3, lalu dilanjutkan dengan merancang sistem instrumentasi pendukungnya untuk menunjang kebutuhan mesin.

Schematics Design dengan Aplikasi Eagle

Setelah merumuskan masalah, dilanjutkan dengan membuat desain skema elektrik.



Gambar 3.2 skema elektrik dari arduino

Perancangan Program pada Aplikasi Arduino IDE

Pada perancangan program ini banyak menggunakan parameter dari sensor yang dibutuhkan seperti gambar dibawah ini

```
#include "globals.h"
#include "utils.h"
#include "table.h"
#include "scheduler.h"
#include "comms.h"
#include "math.h"
#include "corrections.h"
#include "timers.h"
#include "display.h"
#include "decoders.h"
#include "idle.h"
#include "auxiliaries.h"
#include "fastAnalog.h"
#include "libs/PID_v1/PID_v1.h"

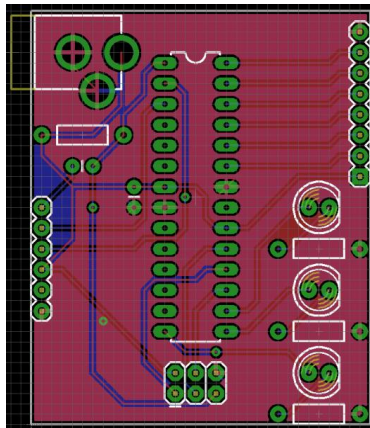
#ifdef __SAM3X8E__
//Do stuff for ARM based CPUs
#else
#include "storage.h"
#endif

struct config1 configPage1;
struct config2 configPage2;
struct config3 configPage3;
struct config4 configPage4;
```

Gambar 3.3 ilustrasi Perancangan Program Arduino IDE

Desain Board dengan Aplikasi Eagle

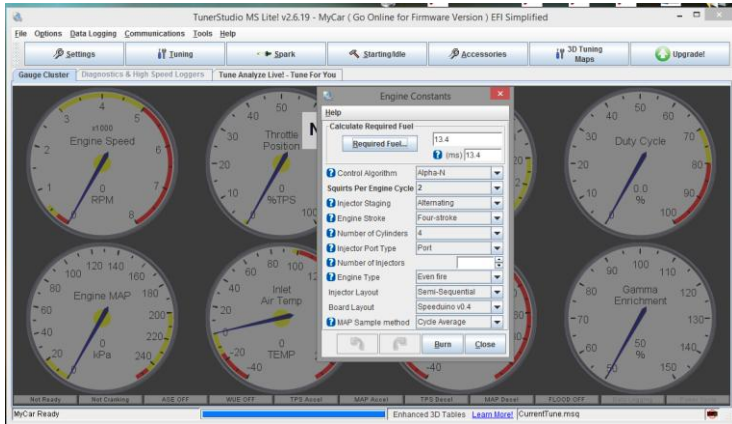
Dari skema elektrik diatas akan dibuat desain board termasuk dalam pemilihan jenis board yang dipakai, seperti contoh dibawah ini



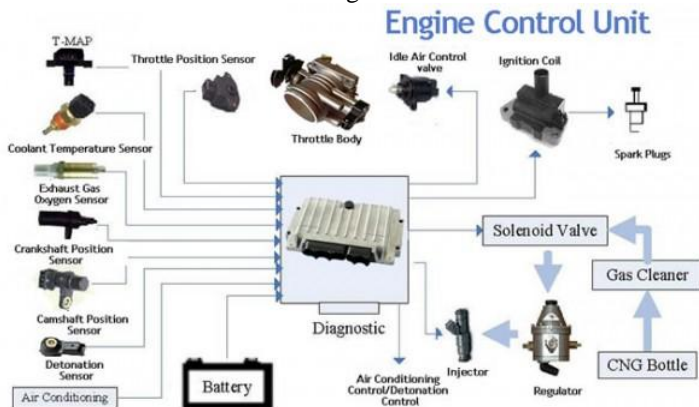
Gambar 3.4 ilustrasi Desain *Board* dari skema elektrik

Setting Board Arduino dengan Aplikasi Tuner Studio MS

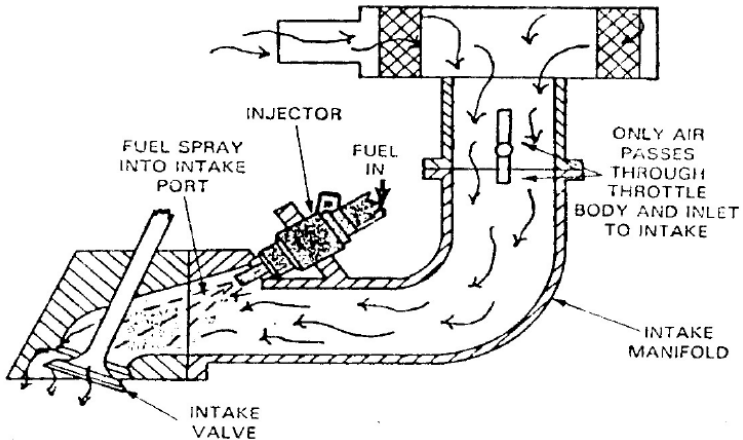
Setting pada aplikasi Tuner Studio Meliputi Jumlah Piston, Campuran Bahan Bakar dll



Gambar 3.5 Contoh Setting Rasio Bahan Bakar dan Jumlah Ruang Bakar

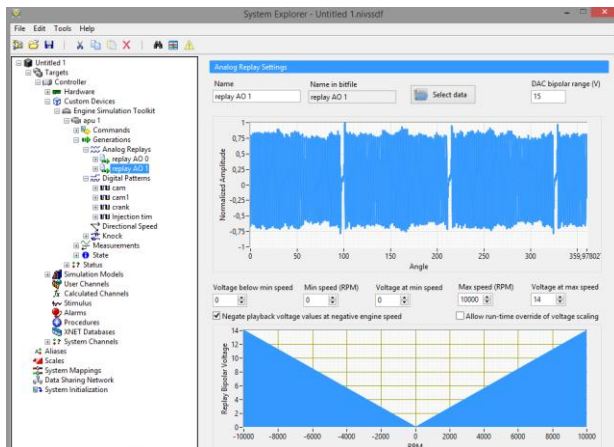


Gambar 3.6 konfigurasi sensor dan aktuator pada sistem kontrol elektronik pada mesin



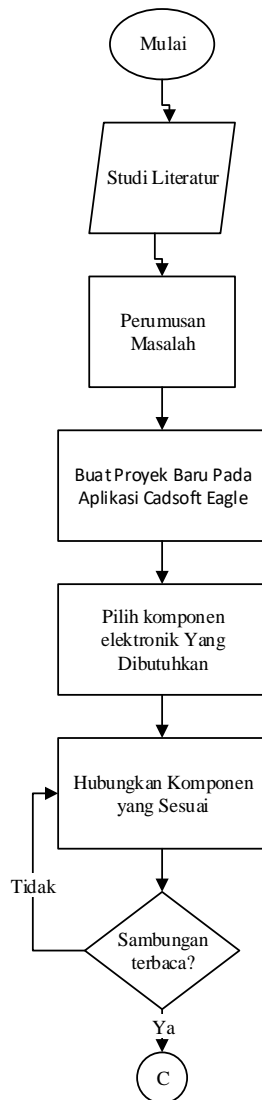
Gambar 3.7 Ilustrasi sistem keluaran bahan bakar yang digunakan dalam perancangan

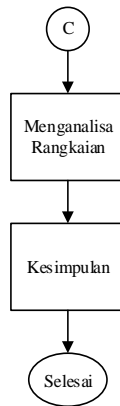
Jalankan Simulasi pada Aplikasi NI LabView



Gambar 3.8 Contoh Simulasi

3.2 Diagram Alir *Schematic Design*





Gambar 3.9 Diagram Alir *Schematics Design*

Mulai

Meliputi penentuan komponen yang mendukung dari sistem kerja manajemen mesin lalu berasal dari materi penelitian sebelumnya kemudian mencari referensi mengenai sistem kontrol *engine* serta jenis dari sensor-sensor yang dipakai.

Studi Literatur

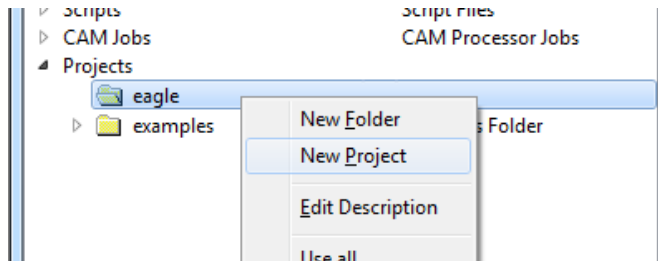
Mencari data dan literatur yang ada untuk mempelajari sistem kontrol elektronik dengan jenis-jenis sensor yang digunakan, meliputi kajian mikrokontrol yang digunakan hingga part IC (*Integrated Circuit*) dari board yang akan dipakai melalui media cetak maupun elektronik.

Perumusan Masalah

Merumuskan masalah bahwa dibutuhkan kajian penelitian untuk mendesain sistem instrumentasi Pendukung kerja dari sensor dan actuator yang akan digunakan untuk menunjang kebutuhan mesin.

Buat Proyek Baru pada Aplikasi Cadsoft Eagle

Setelah membuka aplikasi Cadsoft Eagle akan muncul panel kontrol pada sebelah kiri jendela, dibawah folder “*Project*”, klik kanan pada sub-folder yang ada (pada pengaturan standar file disimpan pada folder eagle), dan klik “*New Project*”.



Gambar 3.10 Cara untuk membuat folder baru sumber : sparkfun.com

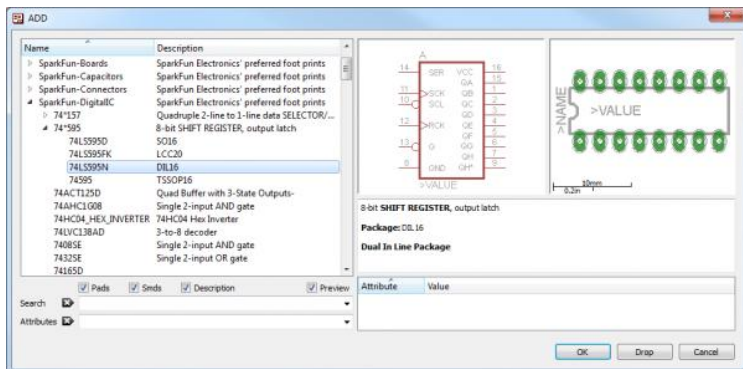
Tambahkan Komponen yang Dibutuhkan

Dalam *schematic design* terdapat dua proses. Yang pertama diharuskan untuk memasukkan komponen yang dibutuhkan lalu dari part tersebut akan dihubungkan sambungan antar koponen yang sesuai. Klik gambar untuk menambahkan komponen.



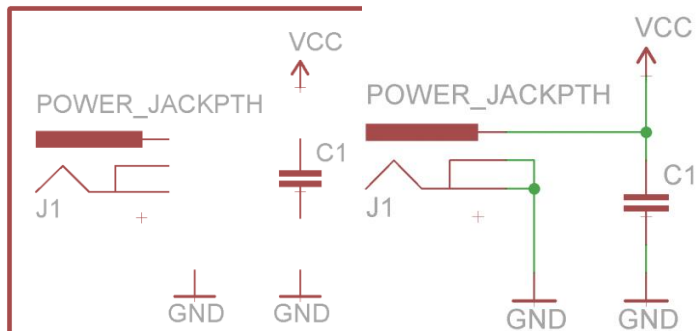
Gambar 3.11 ADD Tool

Lalu akan muncul *pop-up* dari *library* Eagle, dimana dapat memperoleh informasi tentang detail dari komponen. Pada *pop-up* part yang dipilih pada sisi kiri, lalu pada sisi kanan akan dijelaskan mengenai symbol elektronik dan detail ukuran dari part tersebut.



Gambar 3.12 Menu pada *Library* Eagle, Sumber : sparkfun.com

Hubungkan Sambungan antar Komponen

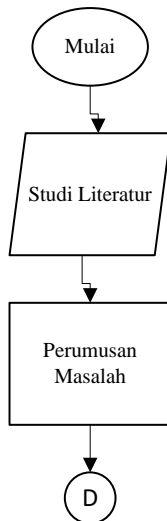


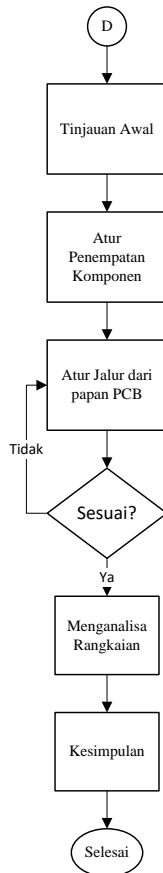
Gambar 3.13 Ilustrasi sebelum disambungkan (kiri) dan sesudah disambungkan (kanan)

Menganalisa Rangkaian

Pada bagian ini merupakan analisa ketersediaan komponen di pasar dan kecocokan dengan sistem kontrol yang dibuat termasuk dalam pembuatan BOM (*Bill Of Material*)

3.3 Diagram Alir Desain Board





Gambar 3.14 Diagram alir Desain *Board*

Mulai

Meliputi persiapan komponen pendukung dari skema elektronik lalu yang telah dibuat sebelumnya sekaligus persiapan aplikasi yang dibutuhkan.

Studi Literatur

Mencari data dan literatur yang ada untuk mempelajari sistem kontrol elektronik dengan jenis-jenis sensor yang digunakan, meliputi

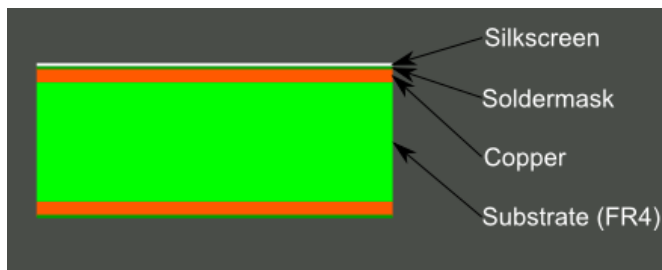
kajian mikrokontrol yang digunakan hingga penempatan IC (*Integrated Circuit*) dari board yang akan dipakai melalui media cetak maupun elektronik.

Perumusan Masalah

Merumuskan masalah bahwa dibutuhkan kajian penelitian untuk mendesain sistem instrumentasi Pendukung kerja dari sensor dan aktuator yang akan digunakan untuk menunjang kebutuhan mesin.

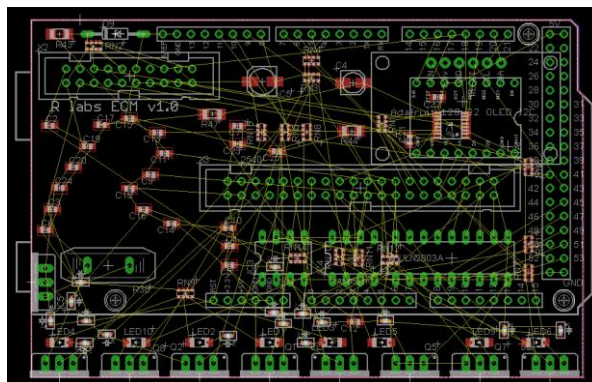
Tinjauan Awal

Tinjauan pada bahan PCB, ketebalan lalu bahan PCB yang digunakan disini menggunakan bahan FR4, dan pada kedua sisi terdapat tembaga tipis yang melapisi FR4.



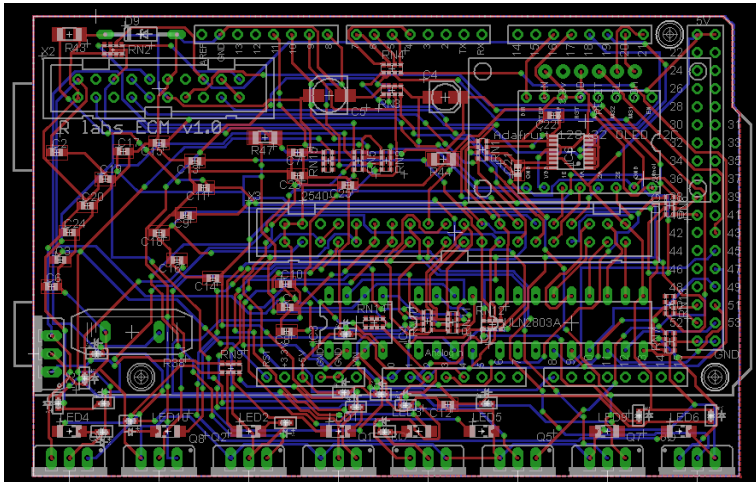
Gambar 3.15 Lapisan dari PCB

Atur Penempatan Komponen



Gambar 3.16 Penempatan Komponen pada PCB

Jalur dari papan PCB

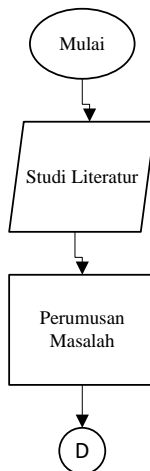


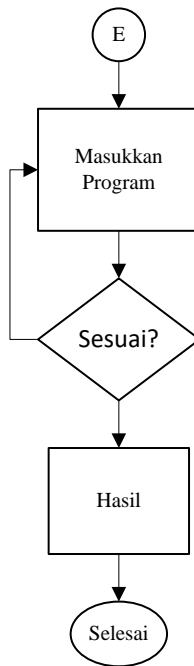
Gambar 3.17 Penempatan Jalur pada PCB

Menganalisa Rangkaian

Pada bagian ini merupakan analisa kemampuan manufaktur di pasar meliputi Thru hole dan lebar jalur.

3.4 Diagram Alir Program Arduino





Gambar 3.18 Diagram alir Program Arduino

Mulai

Meliputi persiapan komponen pendukung dari Pembuatan program sekaligus persiapan aplikasi yang dibutuhkan.

Studi Literatur

Mencari data dan literatur yang ada untuk mempelajari program kontrol elektronik dengan jenis-jenis sensor yang digunakan dan parameter aplikasi untuk mensetting, meliputi kajian mikrokontrol yang digunakan dari board yang akan dipakai dan aplikasi apa yang digunakan melalui media cetak maupun elektronik.

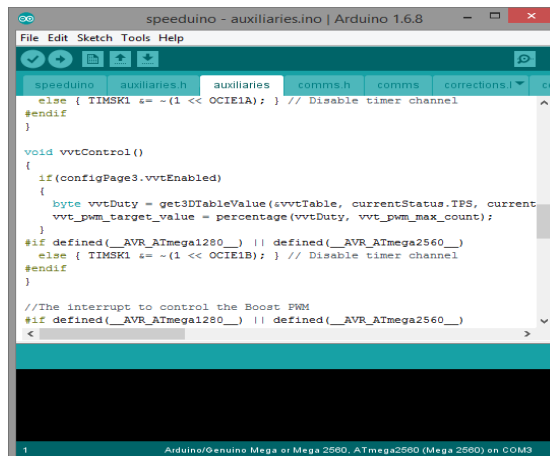
Perumusan Masalah

Merumuskan masalah bahwa dibutuhkan kajian penelitian untuk mendesain program arduino untuk mendukung kerja dari sensor dan aktuator yang akan digunakan penunjang kebutuhan mesin.

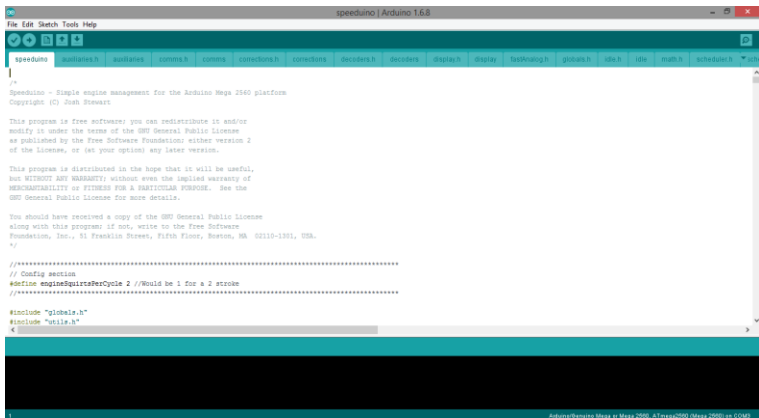
Masukkan Program

Program yang digunakan termasuk menggunakan program standar yang ada di dalam software (*add-on*). Berikut adalah *add-on* yang digunakan dalam program :

- | | | |
|------------------|-------------------|---------------|
| 1. Auxilliaris | 10. Display.h | 19. Storage.h |
| 2. Auxilliaris.h | 11. Fast Analog.h | 20. Table |
| 3. Comms.h | 12. Globals.h | 21. Table.h |
| 4. Comms | 13. Idle | 22. Timers |
| 5. Corrections.h | 14. Idle.h | 23. Timers.h |
| 6. Corrections | 15. Math.h | 24. Utils |
| 7. Decoders.h | 16. Scheduler.h | 25. Utils.h |
| 8. Decoders | 17. Scheduler | |
| 9. Display | 18. Storage | |

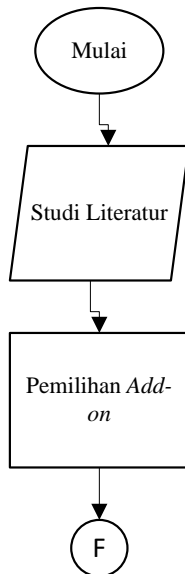


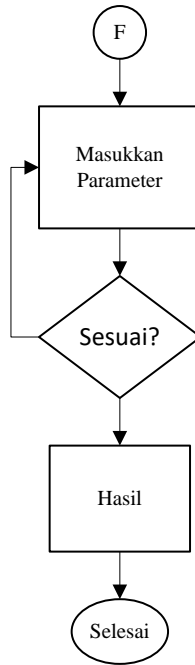
Gambar 3.19 Add-on Program Arduino



Gambar 3.20 Program Arduino Induk

3.5 Diagram Alir *Simulasi pada Aplikasi NI LabVIEW*





Gambar 3.21 Diagram Alir Simulasi NI LabVIEW

Mulai

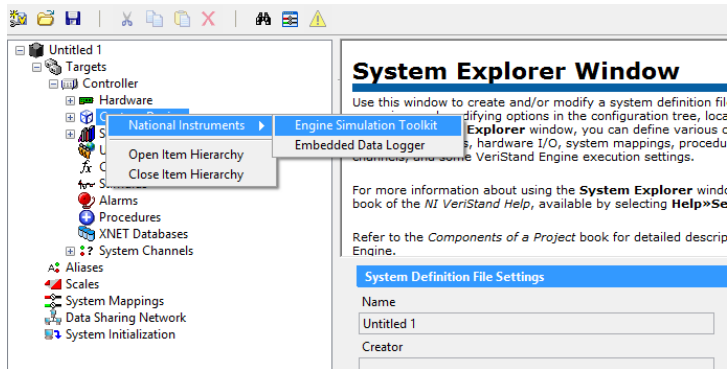
Meliputi persiapan komponen pendukung dari Pembuatan program sekaligus persiapan aplikasi yang dibutuhkan.

Studi Literatur

Mencari data dan literatur yang ada untuk mempelajari simulasi program kontrol elektronik dengan jenis-jenis sensor yang digunakan menggunakan mesin virtual yang ada di dalam aplikasi yang digunakan melalui media cetak maupun elektronik. Didalam simulasi menggunakan mesin 4 tak 1 silinder bensin.

Pemilihan *Add-on*

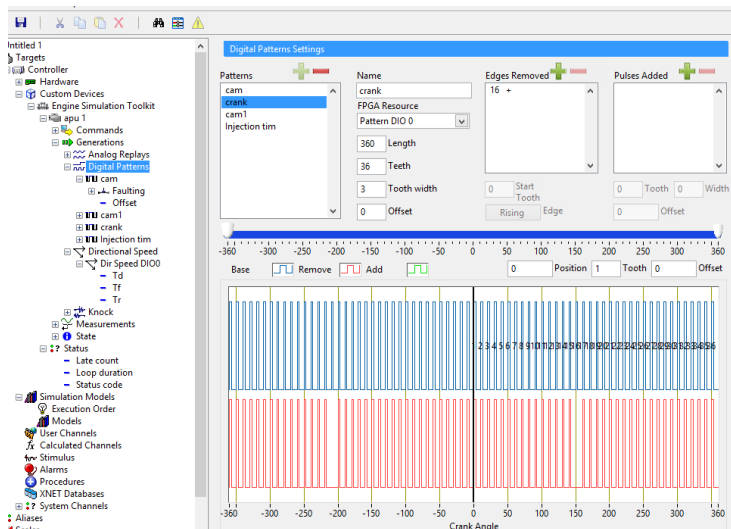
Program yang digunakan ada didalam tambahan pada aplikasi simulasi yang ada di dalam software (*add-on*) yaitu *Engine Simulation Toolkit*



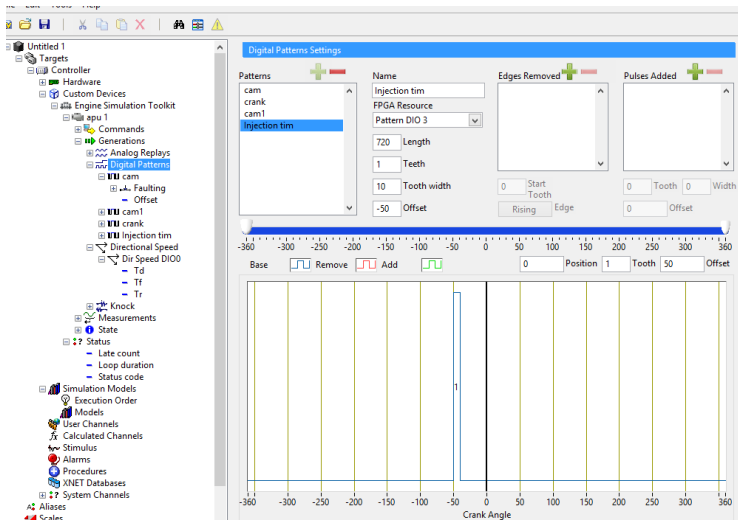
Gambar 3.22 Pemilihan Add-on Simulasi NI LabVIEW

Masukan Parameter

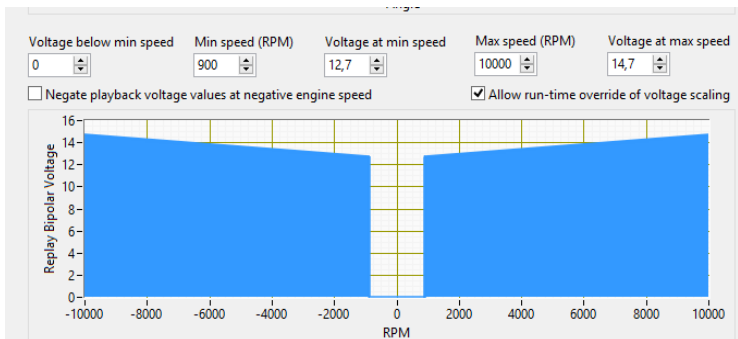
Parameter yang dimasukkan meliputi input sensor posisi, voltase masuk dari mesin dan keluaran injeksi, berikut ilustrasi parameter tersebut.



Gambar 3.23 Parameter Simulasi Sensor RPM



Gambar 3.24 Parameter Simulasi Injektor



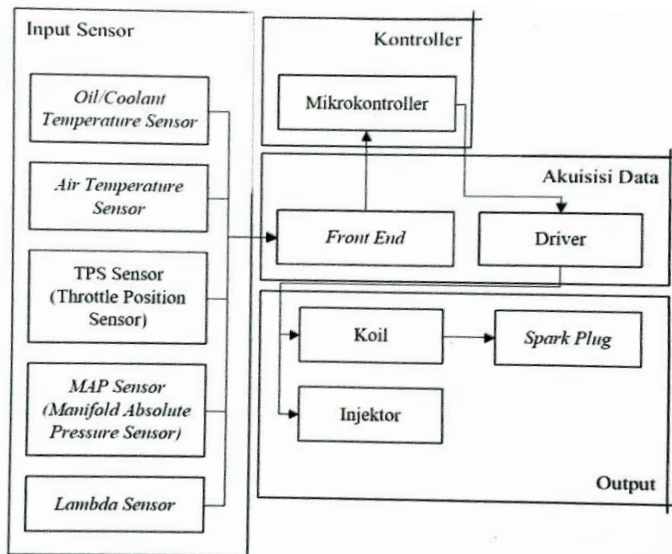
Gambar 3.25 Parameter Simulasi Voltase

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

BAB IV

HASIL SIMULASI

Bab ini dibagi menjadi empat bagian. Pada bagian pertama dijelaskan mengenai hasil dari skema elektronik pcb pendukung yang digunakan dalam simulasi. Pada bagian kedua akan diberikan hasil *3D view* jika board PCB dicetak. Bagian keempat akan dijelaskan Interface dan pengaturan controller pada aplikasi Tuner Studio MS Dan bagian yang terakhir akan dijelaskan mengenai hasil simulasi pada controller. Pada simulasi akhir, mekanisme pemberian kondisi awal yang dilakukan dengan menjalankan simulasi aplikasi dengan pengaturan tertentu. Lalu pada diagram blok dibawah merupakan cara kerja system yang dirancang :



Gambar 4.1 Diagram Blok Alur Kerja Sistem

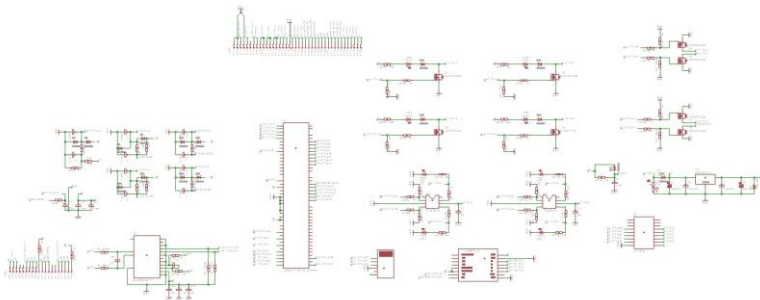
Nilai referensi diatur dalam mikrokontroller Arduino Mega 8525 rev 3, kemudian mikrokontroller melakukan akuisisi data yang dikirim dari sensor dari mesin. Data ini diolah agar sesuai dengan pembacaan yang diinginkan oleh mikrokontroller lalu data yang diperoleh diolah dan dikirimkan menuju driver untuk menjalankan aktuator untuk menjalankan aksi kontrol pada mesin. Masing-masing sinyal pada blok diagram pada gambar 4.1 memiliki keterangan sebagai berikut :

1. Suhu Udara masuk
2. Tekanan Udara masuk
3. Suhu Pelumas/Cairan pendingin
4. Kadar oksigen setelah pembakaran terjadi Sudut bukaan kupu-kupu pada *throttle body*
5. Sinyal analog keluaran *Analog Front End*
6. Sinyal kontrol dari kontroller
7. Sinyal Driver untuk aktuator

Aksi kontrol dari aktuator dibutuhkan untuk mengeluarkan seberapa banyak keluaran bahan bakar dan waktu pengapian yang dijalankan oleh busi.

4.1 Schematics Board

Pada skema elektronik dari kontroller dibagi pada beberapa bagian yaitu *Power Supply*, *Boost control*, *Idle control*, *injection control*, *boost control*, *ignition amplifier*, *lcd*, *LC out*, *Position sensor amplifier*, *CLT*, *TPS*, *IAT*. Pada skema elektronik board terdapat system yang dirancang pada blok diagram yaitu *Analog Front End* dan *Driver* yang akan membantu kerja mikrokontroller dalam membaca sinyal dari sensor maupun driver untuk menjalankan aktuator.

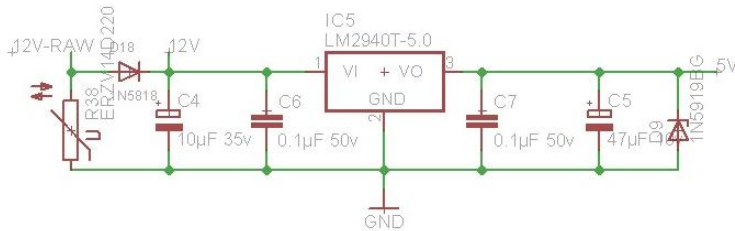


Gambar 4.2 Hasil Skema wiring umum pada board

4.1.1 Front End

Sistem perangkat keras yang dirancang pada system meliputi : rangkaian power supply, rangkaian pengaman sensor posisi, rangkaian pengaman temperature pendingin, rangkaian pengaman temperatur udara masuk, rangkaian sensor posisi kupu-kupu/*throttle*, dan rangkaian pengaman sensor lambda/O₂.

Power Supply

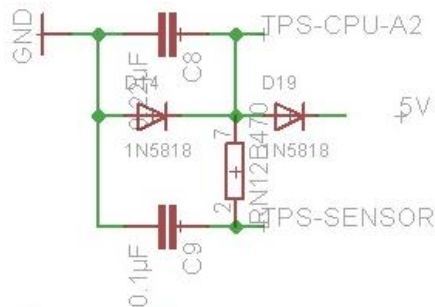


Gambar 4.3 Hasil skema wiring power supply pada board

Pada rangkaian power supply digunakan IC regulator tegangan LM2940T. LM2940T merupakan regulator tegangan yang memiliki tegangan keluaran tetap 5 volt. Berdasarkan datasheet, LM2940T memerlukan kapasitor di bagian keluaran untuk kestabilan, sehingga pada desain digunakan kapasitor C7 dan C5 dengan nilai 0.1 uF dan 47uF, yang menghasilkan kapasitansi ekuivalen sebesar 47.1uF. kapasitor C4 dan C6 pada masukan digunakan sebagai kapasitor filter. Diode pada masukan dan keluaran digunakan sebagai proteksi IC LM2940T dari *reverse polarity*, sedangkan varistor pada masukan digunakan untuk proteksi IC dari tegangan transient.

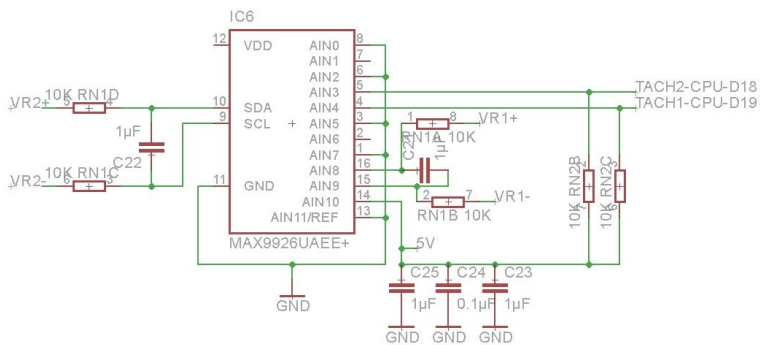
Rangkaian Throttle Protection

Karena sensor posisi kupu-kupu/*throttle* jenis sensor analog yang bekerja seperti variabel resistor yang dikirimkan oleh sensor dengan rentang 0-5 volt dan arus maksimal 40mA maka pada rangkaian *Front End* disini menggunakan resistor dengan ukuran 470 Ohm. Pada input sensor digunakan diode sebagai pengaman tegangan input ADC dari *reverse polarity* dan penerus tegangan untuk dikirimkan kembali ke sumber.



Gambar 4.4 Rangkaian untuk sensor posisi kupu-kupu/Throttle

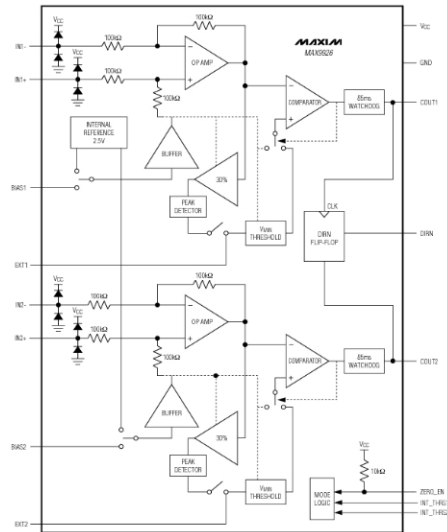
Rangkaian Posisi roda gila dan *Camshaft*



Gambar 4.5 Rangkaian untuk sensor posisi roda gila dan camshaft

Pada gambar 4.5 merupakan rangkaian sensor posisi roda gila dan camshaft. Rangkaian ini terdiri IC MAX9926UAEE+. IC ini digunakan karena memiliki op amp terintegrasi, komparator presisi, sinyal blocker teradaptasi dan detector sirkuit *zero-crossing*. Pada rangkaian diatas tegangan referensi yang digunakan untuk bias amplifiier diferensial dan semua sirkuit internal dengan tujuan mengaktifkan internal sinyal blocker adaptif sebagai referensi komparator output. Dimana mekanisme tersebut memiliki anti noise yang kuat pada sinyal input dari sensor, ketika ada kerusakan pada gigi atau pembacaan yang tidak stabil dikarenakan adanya *misalignment* pemasangan gigi. Lalu pada input

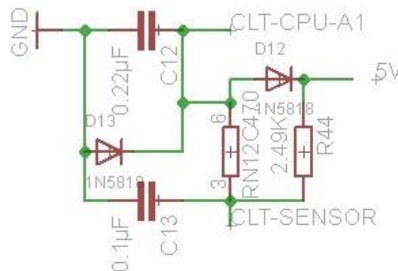
VCC pada pin 14 dipasang kapasitor sebagai kapasitor filter. Berikut merupakan diagram fungsional dari IC MAX9926.



Gambar 4.6 Diagram Fungsional IC MAX9926UAE+.

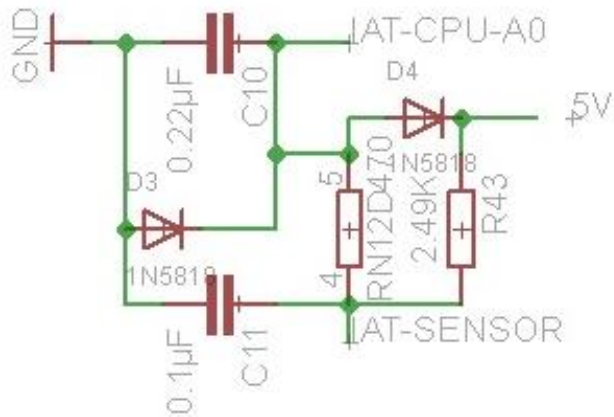
Rangkaian *Coolant/Oil Temperature*

Pada dasarnya rangkaian dibawah sama dengan rangkaian sensor posisi akan tetapi ditambah dengan rangkaian resistor pull up yang disambungkan langsung dengan sumber 5v untuk mengurangi voltase drop.



Gambar 4.7 Rangkaian *Coolant/Oil temperature* sensor

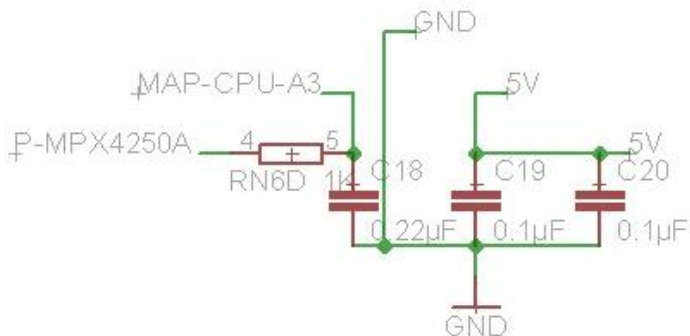
Rangkaian Sensor temperatur Udara masuk



Gambar 4.8 Rangkaian sensor temperatur udara masuk

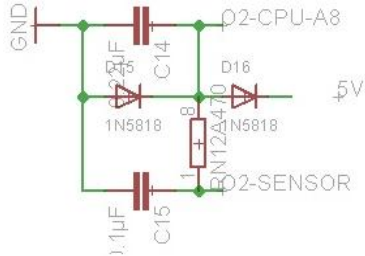
Rangkaian Sensor Tekanan Udara masuk

Dikarenakan sensor ini termasuk sensor analog dengan noise yang tinggi dikarenakan sifat fluida yang tidak selalu stabil/laminar di setiap waktu di setiap posisi, pada rangkaian ini ditempatkan resistor dari input sensor untuk mengurangi noise dari sinyal yang diterima dengan arus maksimal 40mA.



Gambar 4.9 Rangkaian Sensor Tekanan Udara masuk

Rangkaian sensor Lambda/O₂

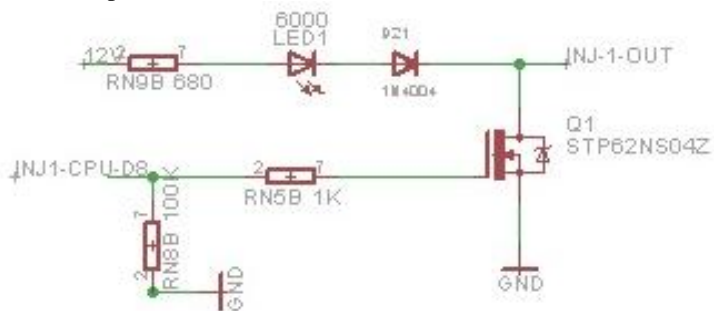


Gambar 4.10 Rangkaian Sensor Lambda/O₂

4.1.2 Driver

Driver Injector

Rangkaian pada gambar 4.2 merupakan rangkaian injeksi dan boost. Rangkaian ini terdiri dari mosfet N-channel STP62NS04Z. mosfet ini digunakan karena kapasitas arus drain yang besar yaitu 62 ampere dan memiliki proteksi terhadap arus transient berupa dioda TVS (Transient Voltage Suppressor) dalam bentuk dioda zener dengan konfigurasi back to back Gate-Drain dan Drain-Source yang sudah terintegrasi dalam IC. Pada input gate dari mosfet digunakan resistor sebagai pembagi tegangan input drive untuk gate. Digunakan resistor 1 KOhm dan 100 Ohm dengan rasio pembagian tegangan 1:11. Pada input drain digunakan dioda sebagai pengaman tegangan input drain dari *reverse polarity* dan led sebagai indikator. Resistor pada led digunakan untuk membatasi arus yang melewati led. Dengan tegangan input 12 volt dan arus maksimal led 20 mA maka digunakan resistor ($V_{input} / 20mA$) = 680 Ohm.

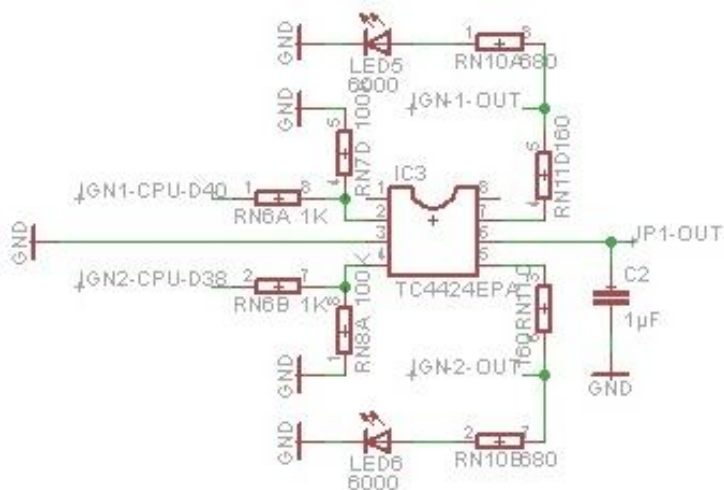


Gambar 4.11 Rangkaian Driver Injector

Driver *Ignition*/Pengapian

Pada driver *Ignition* terdapat 2 langkah dalam komunikasinya, yang pertama sinyal dari mikrokontroller dikirimkan ke mosfet driver lalu dari mosfet driver menuju ke koil, ini dikarenakan output tegangan dan arus maksimal 40 mA dari mikrokontroller terlalu kecil untuk digunakan oleh koil langsung, maka dibutuhkan tambahan mosfet driver untuk menyalurkan daya dari sumber tegangan menuju ke mosfet dengan voltase 12 volt melalui pin JP1out dengan maksimal arus 3 A.

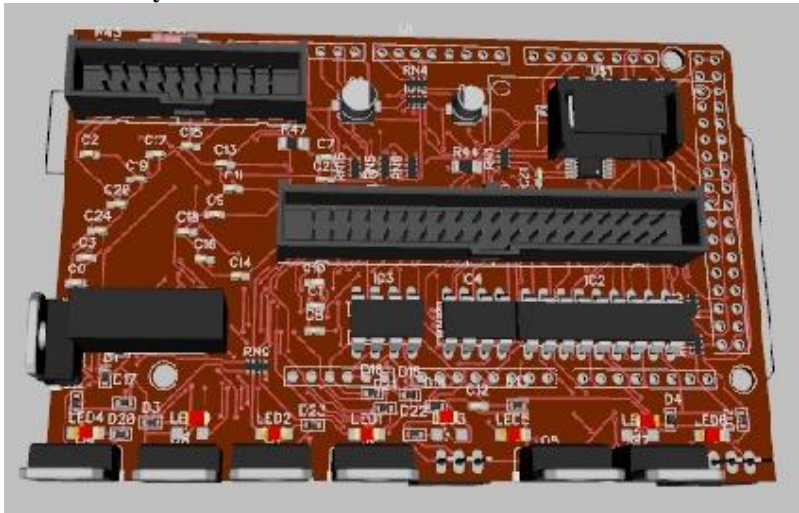
Gambar 4.12 merupakan rangkaian untuk pengapian. Rangkaian pengapian terdiri dari driver mosfet TC4424. IC ini memiliki dua input dan dua output, sehingga dapat digunakan untuk mendrive dua buah koil. Pada masing-masing input digunakan resistor pembagi tegangan dengan nilai masing-masing 100 Ohm dan 1 KOhm dengan rasio pembagian tegangan 11:1. Hal ini dilakukan karena sinyal input memiliki tegangan yang lebih besar dari tegangan maksimal input IC TC4424.



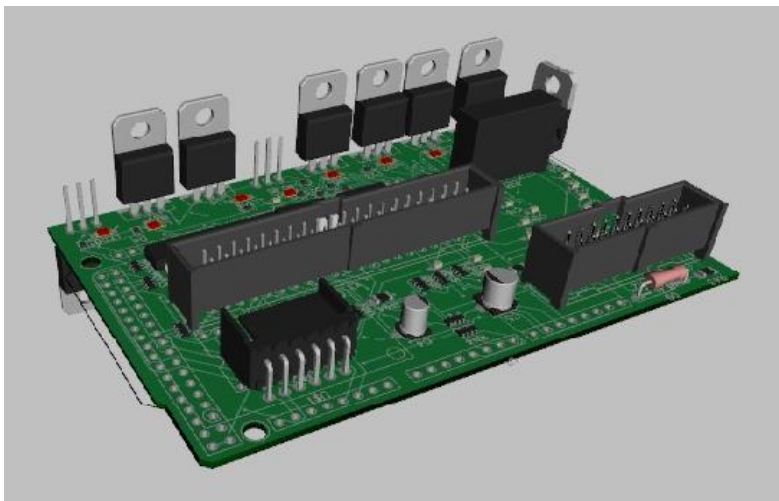
Gambar 4.12 Mosfet Driver (Driver Pengapian)

Pada keluaran IC Driver digunakan led sebagai indikator output dan resistor sebagai pembatas arus keluaran yang melewati led. Kapasitor pada pin VDD (Pin 6) digunakan sebagai IC bypass, dengan nilai 1uF untuk menjaga tegangan pada pin VDD stabil.

4.2 PCB Layout



Gambar 4.13 Hasil Board Pendukung (atas)

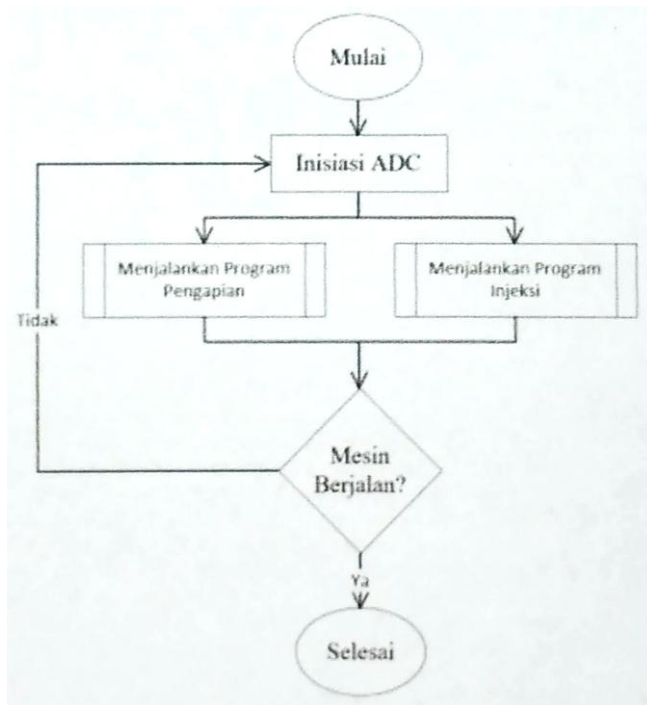


Gambar 4.14 Hasil Board Pendukung

4.3 Hasil Program Arduino

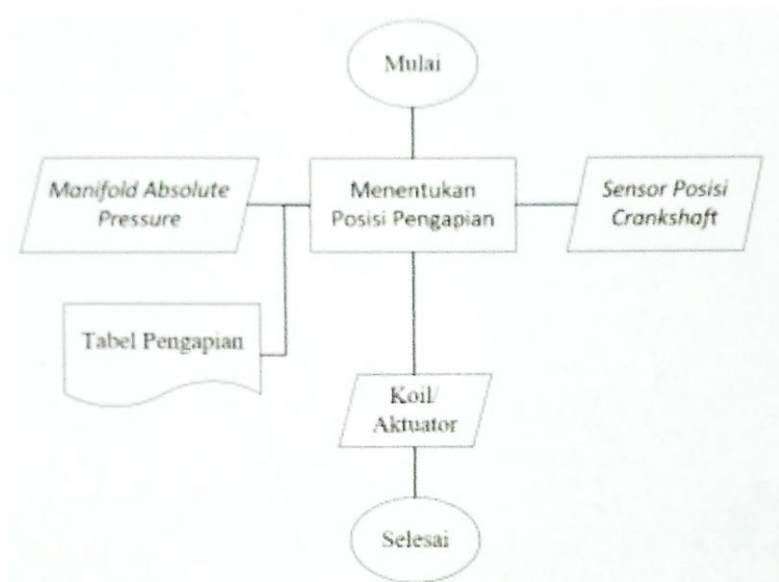
Proses kontrol pada sistem mengambil dari sensor throttle position, sensor posisi roda gila dan camshaft, sensor suhu udara masuk, sensor tekanan udara masuk, sensor suhu oli/pendingin dan sensor lambda/O2. Pada sensor diimplementasikan analog front end untuk pengaman dan penyetabil sinyal pembacaan sensor. Pada tugas akhir ini diimplementasikan controller adaptif di mikrokontroller arduino mega 8525 rev 3. Kontroller ini digunakan untuk mengontrol dan mengaktuasi sistem pembakaran pada mesin pembakaraan dalam 4 tak.

Diagram alir program kontroller mesin pembakaran dalam 4 tak yang diimplementasikan pada mikrokontroller arduino mega 8525 dapat dilihat pada gambar 4.15 berikut :



Gambar 4.15 Blok Diagram kerja program arduino

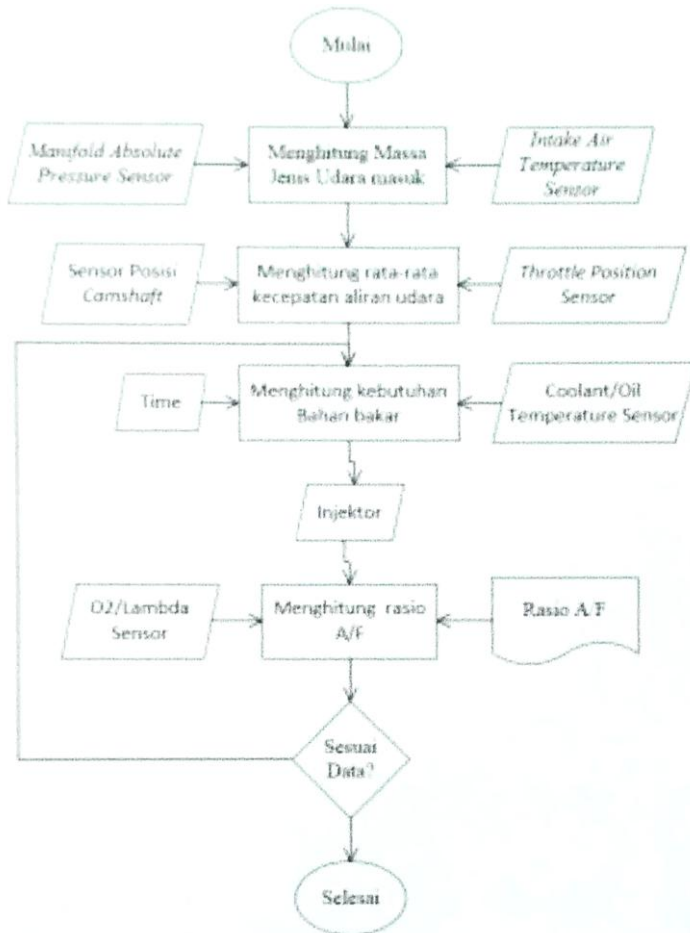
Pada program controller ini diawali dengan inisiasi peripheral ADC Arduino mega 8525 rev 3. Loop program dibagi menjadi 2, program pengapian dan program injeksi. Hal ini karena pada system ini memiliki dua actuator sebagai eksekusi sistem. Pada program pengapian dijelaskan pada gambar 4.16 dibawah :



Gambar 4.16 Blok diagram program pengapian

Pada diagram pengapian diatas ditunjukkan bahwa dalam menentukan posisi pengapian terdapat tiga parameter yang dibutuhkan sebagai input dari penentuan tersebut yaitu, data tekanan udara masuk ke ruang bakar untuk mengetahui beban kerja dari mesin, sensor posisi roda gila untuk mengetahui mesin dalam putaran berapa dan posisi berapa derajat dari titik mati atas, dan tabel pengapian yang telah ditentukan parameter antara tekanan di ruang bakar dibanding putaran mesin. Untuk program sistem injeksi lebih banyak diperlukan parameter untuk menentukan volume yang dikeluarkan oleh injektor, masukan dari sensor yang dibutuhkan yaitu sensor tekanan absolut udara masuk, sensor posisi roda gila, sensor lambda/O2, sensor posisi bukaan kupu-

kupu/*throttle*, sensor suhu udara masuk, dan sensor pendingin/oli yang sebagaimana dijelaskan pada gambar berikut :



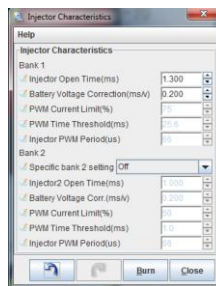
Gambar 4.17 Blok diagram program pengapian

Program aktuasi injector ini banyak membutuhkan data untuk menentukan seberapa banyak injector mensuplai bahan bakar ke ruang bakar. Pertama controller membutuhkan data massa jenis udara

denganmengunduh data suhu dan tekanan yang ada sebagaimana pada rumus $\rho = p/RT$ dimana ρ merupakan massa jenis (Kg/m^3), R yaitu gas konstan spesifik ($R=287,058 \text{ J}/(\text{Kg.K})$), dan T, suhu (K). Dari itu kontroller dapat mengkalkulasi berapa massa jenis udara yang masuk ke ruang bakar. Lalu dengan sensor posisi roda gila controller dapat mengetahui berapa putaran mesin dan ditambah dengan sudut bukaan katup, controller dapat mengetahui berapa rata-rata kecepatan udara yang masuk ke ruang bakar. Dibarengi dengan data massa jenis udara yang masuk, controller dapat mengetahui massa udara yang masuk di ruang bakar. Pada diagram selanjutnya terdapat kalkulasi jumlah bahan bakar yang dibutuhkan oleh mesin dengan input data waktu dan suhu pendingin/oli. Ketika mesin dingin, mesinsulit terbakar karena oli lebih kental dan bahan bakar lebih sulit mengkabut, karena itu mesin biasanya menggunakan system untuk memperkaya jumlah bahan bakar di ruang bakar untuk mempermudah proses pembakaran dan menaikkan susu mesin. Setelah itu data dikirim ke actuator atau injector sebagai eksekutor untuk mensuplai bahan bakar. Lalu pada saluran gas buang terdapat sensor lambda/O2 sebagai pengirim data feedback jumlah oksigen sisa setelah pembakaran dan dikirimkan kembali ke controller sebagai parameter untuk menentukan jumlah bahan bakar yang akan dikeluarkan.

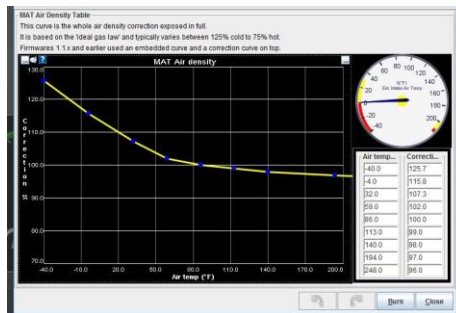
4.4 Hasil Simulasi MS Tune

Simulasi MS Tune terdapat beberapa parameter yang harus dicantumkan pada program seperti karakteristik injector, koreksi sensor temperature udara disbanding massa jenis, tabel pengapian, dan tabel rasio A/F. berikut merupakan pengaturan dari penulis pada simulasi yang dijalankan:



Gambar 4.18 Pengaturan karakter injector

Pada pengaturan ini disematkan toleransi waktu dari bukaan injector dari controller sampai ke injector dengan harapan dapat sesuai dengan waktu dan derajat actual yang diinginkan. Lalu pada pengaturan injector close angle untuk mengatur batas dari bukaan injector ketika mensuplai bahan bakar menurut sudut dari roda gila. Lalu pada koreksi sensor temperatur udara dijelaskan pada gambar berikut:



Gambar 4.19 Pengaturan Koreksi Temperatur Udara masuk

Gambar diatas merupakan koreksi dari temperatur udara masuk dibandingkan dengan persen jumlah bahan bakar yang dikeluarkan oleh injector, dengan kata lain merupakan perintah yang dibuat untuk mengkayakan bahan bakar ketika mesin awal dinyalakan. Dimana saat itu belum diaktifkannya feedback dari sensor lambda/O₂ untuk sementara waktu karena mesin belum mencapai suhu kerja ().

Berikut tabel pengapian yang ditentukan sebagai parameter waktu pengapian yang diinginkan :

Ignition Advance Main Table																
m a p k a	101	19	20	21	23	23	22	23	24	28	28	28	28	28	28	28
	95	19	20	21	23	23	22	23	24	28	28	28	28	28	28	28
	90	20	21	21	23	24	24	26	26	28	28	28	28	28	28	29
	85	21	23	22	24	24	26	27	28	28	29	29	29	29	30	30
	80	22	23	24	24	26	28	28	28	28	28	28	28	28	28	29
	70	23	24	25	26	27	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
	60	23	24	25	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
	50	23	24	25	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
	40	16	16	24	27	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
	30	16	16	23	27	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
	25	16	16	23	27	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
	19	16	16	23	27	27	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
rpm																
500 1200 1800 2300 2900 3400 4000 4600 5200 5700 6300 7000																

Gambar 4.20 Pengaturan Pengapian dalam bentuk tabel

www.usEasyDocs.com

Creating an Initial Spark Table for Tuning

our tuning efforts with MegaSquirt® or MicroSquirt® controllers. It is designed to work in Mozilla Firefox.

This calculator has not been tested on all possible engine combinations and operating parameters. Use it at your own risk.

If you don't have measured numbers, but remember your table will only be as good as your estimates, and

Cylinder Bore:	51	millimeters
Combustion Chamber Type:	2-valve closed chamber w/ optimized quench	
Fuel:	regular (87 octane)	
Compression Ratio:	10.1:1 to 11.5:1	
Idle Vacuum:	15	in-Hg
Maximum boost level: (0 for naturally aspirated, max. boost (psi) for turbo/supercharged)	0	psi (21 psi maximum)
Maximum RPM:	7700	RPM
Idle RPM:	1200	RPM
Spark advance table dimensions:	12x12 • MS-I uses 8x8 tables; • MS-II, MicroSquirt, and the Sequencer use 12x12 tables.	
<input type="button" value="Reset Form"/>		

Gambar 4.21 Kalkulasi pada www.useasydocs.com

Tabel pengapian ini ditentukan kalkulasi dari percobaan yang dilakukan oleh www.useasydocs.com dibawah:

AFR Table 1

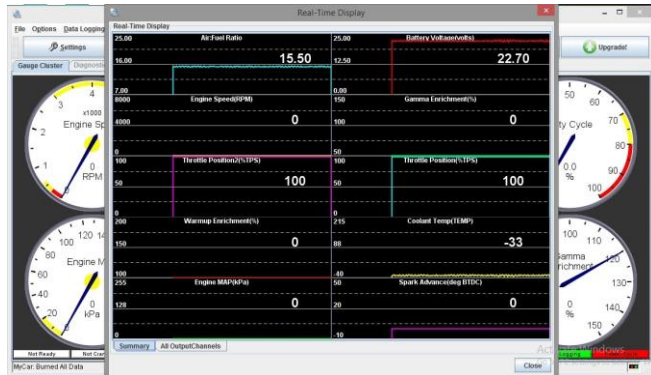
	200.0	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8
	175.0	11.9	11.9	11.9	11.9	11.9	11.9	11.9	11.9	11.9	11.9	11.9
	150.0	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.2	12.2	12.2	12.2	12.2	12.2
	125.0	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.4	12.4	12.2	12.2	12.2	12.2
	100.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.1	14.1	14.1	13.6	13.4	12.9	12.4
	90.0	14.7	14.7	14.8	14.8	14.8	14.8	14.8	14.8	14.3	13.8	13.3
	85.0	14.7	14.7	14.8	14.8	14.8	15.7	15.7	15.3	14.3	13.8	13.3
	70.0	14.7	14.7	15.0	15.3	15.3	16.0	16.0	16.0	15.3	14.3	13.8
	55.0	14.8	14.8	15.0	15.3	15.3	16.0	16.0	16.0	15.3	14.3	13.8
	45.0	14.5	14.8	15.0	15.3	15.3	16.0	16.0	16.0	15.3	14.3	13.8
	35.0	14.5	14.8	14.8	15.1	15.3	15.3	15.3	14.6	14.3	13.8	13.3
	30.0	14.5	14.8	14.8	15.1	15.3	15.3	15.3	14.6	14.3	13.8	13.3
		1000	1300	1500	2300	3000	3700	4400	5100	5800	6500	7000
		rpm										

Gambar 4.22 Tabel rasio A/F

Gambar 4.21 menunjukkan bahwa ukuran piston per-silinder ditentukan pada ukuran 51 mm dengan jumlah 2 klep (1 klep masuk dan

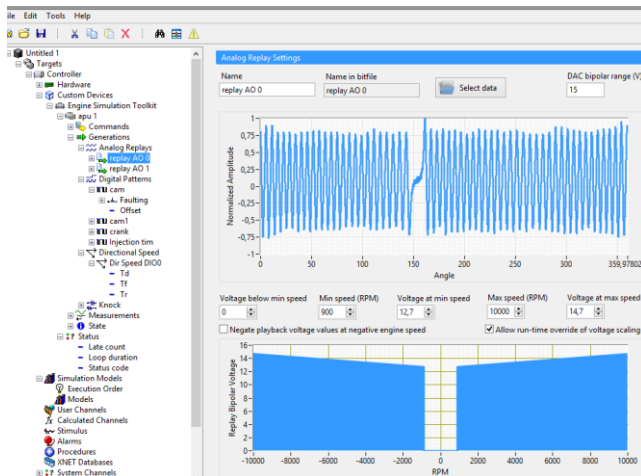
1 klep buang) dengan rentang kompresi 10,1:1 sampai 11,5:1 dengan tekanan manifold 15 mmHg (7.36731 PSI), dengan mesin tumpu perangkat induksi paksa, putaran maksimum 7700 RPM dan putaran stasioner atau idle 1200 RPM.

Hasil dari simulasi tanpa adanya input dari mesin actual sebagai berikut :



Gambar 4.23 Hasil Simulasi ketika kontroller disambungkan

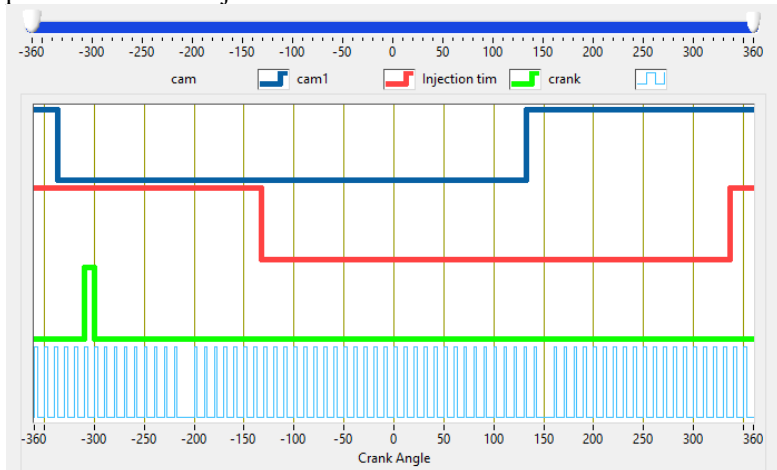
4.5 Hasil Simulasi NI LabVIEW



Gambar 4.24 Simulasi Voltase masuk

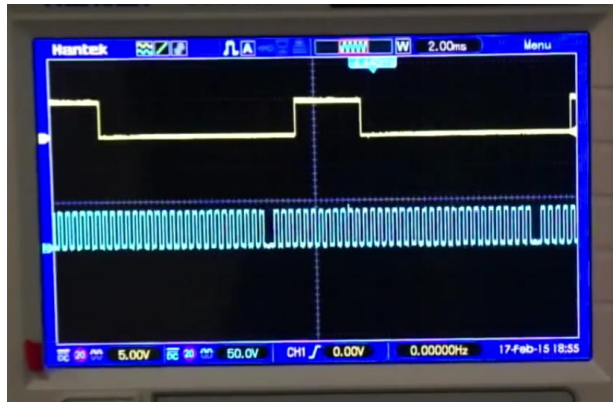
Simulasi voltase masuk menghasilkan output dari alternator menuju ke aki dimana mempengaruhi performa dan kestabilan dalam aktuasi injector dan pengapian yang memerlukan sumber tegangan dari aki dalam kondisi voltase tidak sepenuhnya stabil (adanya perubahan voltase di setiap putaran).

Pada posisi -360 merupakan titik mati atas (TMA) diikuti dengan sisa waktu klep buang terbuka (garis biru) dan klep masuk terbuka (garis merah) dimana keadaan pada posisi overlapping (kedua klep terbuka), lalu pada posisi -180 sampai 0 derajat langkah kompresi. Untuk langkah ekspansi berada pada posisi 0 – 180 derajat dan langkah pembuangan pada 180 – 360 derajat.



Gambar 4.25 Simulasi Input dan Output controller (Biru tua: Klep buang, Merah : klep hisap, Hijau : Injektor, Biru muda)

Suatu controller dikatakan baik apabila respon input dari sensor dan output menuju aktuator menghasilkan gelombang pulsa yang stabil sekaligus respon yang baik. Gambar dibawah merupakan contoh input



Gambar 4.26 Contoh Input dan Output kontroller dan output controller yang telah diuji pada mesin mazda miata tahun 2010 4 silinder 4 tak bensin (dalam simulasi ini pembacaan 1 silinder sumber : Speeduino.com) dengan melihat sensor rpm dan waktu penyalan busi.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil perancangan sistem kontrol hasil desain dengan simulasi, dapat diambil kesimpulan bahwa sistem kontrol engine ini diperoleh beberapa kesimpulan baik dalam proses perancangan maupun pada simulasi yang diantaranya dapat diuraikan singkat dibawah ini :

- Pada simulasi yang dijalankan kontroller ini dapat berfungsi baik pada mesin bensin 4 langkah dikarenakan tidak terjadi error pada program *fungsi logic “OR”* yang ditanamkan pada mikrokontroller
- Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan pada sistem kontrol didapat memberikan respons dan mampu mengikuti sinyal referensi dengan mempertahankan setting dengan stabil. Hal ini dibuktikan dengan nilai input yang tidak menunjukkan banyak perbedaan dengan data lain sebagai pembanding.
- Selain itu juga dapat disimpulkan bahwa pembacaan dari sensor yang masuk dan aktuasi injector dapat diperoleh hasil simulasi unjuk kerja kontroler dan komponen pendukungnya mampu memberikan respons yang baik saat sistem injeksi bekerja.

5.2 Saran

- Dalam pembuatan ECU MS3 ini diharuskan mencari banyak referensi terlebih dahulu dan membuat kerangka berpikir yang baik, seperti tentang wiring diagram, sket desain, alur pengujian dll mengingat penelitian tentang ECU sangat sedikit yang terpublikasikan di internet.
- Untuk pengujian akhir sebaiknya dibuat simulasi yang lebih nyata, misalnya dengan variasi keluaran bahan bakar dan rpm mesin secara dinamis dan dilakukannya percobaan 1000 sampai 4000 jam pada mesin sehingga dapat mengetahui performa dan ketahanan kontroller secara aktual.

DAFTAR PUSTAKA

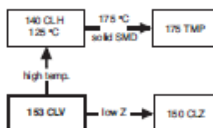
- [1] Stone, Richard dan Ball, Jeffrey K., "Automotive Engineering Fundamentals", *ICROS-SICE International Joint Conference*, pp. 2850-2855, Fukuoka, Nopember, 2009.
- [2] Permana, Rizki. *Otomotif Electronic Fuel Injection*.
- [3] Ruswid. 2008. *Electronic Fuel Injection*.
- [4] Ringwood, Philip. *MS1-Extra Basic Configuration manual (MegaTune version)*. Diakses di www.DIYAutoTune.com pada tanggal 6 Maret 2016 pukul 00.57 WIB.
- [5] NAKeel, *High Performance Engine Simulation*. Diakses di www.decibel.ni.com pada tanggal 2 mei 2016 pukul 10.19
- [6] Ogata K. , "*Modern Control Engineering*", Prentice-Hall, New Jersey, Ch. 3, 1997.
- [7] Paraskevopoulos P. N. , "*Modern Control Engineering*", Marcel Dekker, pp. 237-270, New York, 2002.
- [8] Steward, Josh. *Speeduino v4.0*. Diakses di www.speeduino.com pada tanggal 24 april 2016 pukul 09.13

LAMPIRAN

Aluminum Capacitors SMD (Chip) Long Life Vertical



Fig.1 Component outline.



QUICK REFERENCE DATA	
DESCRIPTION	VALUE
Nominal case sizes (L x W x H in mm)	4.0 x 4.0 x 5.3 to 10 x 10 x 14
Rated capacitance range, C _R	0.47 to 1000 µF
Tolerance on C _R	±20%
Rated voltage range, U _R	6.3 to 100 V
Category temperature range	-55 to +105 °C
Endurance test at 105 °C: case sizes 4.0 x 4.0 x 5.3 to 6.3 x 6.3 x 5.3	1000 hours
case sizes 8.0 x 8.0 x 6.5 to 10 x 10 x 14	2000 hours
Useful life at 105 °C: case sizes 4.0 x 4.0 x 5.3 to 6.3 x 6.3 x 5.3	2000 hours
case sizes 8.0 x 8.0 x 6.5 to 10 x 10 x 14	3000 hours
Useful life at 40 °C; 1.3 x I _R applied: case sizes 4.0 x 4.0 x 5.3 to 6.3 x 6.3 x 5.3	200000 hours
case sizes 8.0 x 8.0 x 6.5 to 10 x 10 x 14	300000 hours
Shelf life at 0 V, 105 °C	1000 hours
Based on sectional specification	IEC 60384-18/ CECC 32300
Climatic category IEC 60068	55/105/56

FEATURES

- Polarized aluminum electrolytic capacitors, non-solid electrolyte, self healing
- SMD-version with base plate, vertical construction requiring minimum board space, reflow solderable
- High CV per unit volume
- Long useful life: 2000 to 3000 hours at 105 °C
- Charge and discharge proof, no peak current limitation
- Supplied in blister tape on reel.

APPLICATIONS

- SMD technology, for high mounting density
- Coupling, decoupling, smoothing, filtering, buffering, timing
- Telecommunications, general industrial, EDP, automotive, portable and lightweight equipment.

MARKING

- Rated capacitance (in µF).
- Rated voltage (in V).
- Date code, in accordance with IEC 60062.
- Black mark or '-' sign indicating the cathode (the anode is identified by bevelled edges).
- Code indicating group number (V).

PACKAGING

Supplied in blister tape on reel.



Table 2

DIMENSIONS in millimeters AND MASS									
NOMINAL CASE SIZE L x W x H	CASE CODE	L _{max}	W _{max}	H _{max}	∅D	B _{max}	S	C	MASS (g)
4.0 x 4.0 x 5.3	0405	4.5	4.5	5.5	4.0	0.8	1.0	2.0 ±0.2	≈0.13
5.0 x 5.0 x 5.3	0505	5.5	5.5	5.5	5.0	0.8	1.4	2.3 ±0.2	≈0.20
6.3 x 6.3 x 5.3	0605	6.8	6.8	5.5	6.3	0.8	2.0	2.7 ±0.2	≈0.30
8.0 x 8.0 x 6.5	0807	8.6	8.6	6.8	8.0	0.8	2.3	3.4 ±0.2	≈0.50
8.0 x 8.0 x 10	0810	8.6	8.6	10.5	8.0	1.1	3.1	3.0 ±0.2	≈1.00
10 x 10 x 10	1010	10.6	10.6	10.5	10.0	1.1	4.7	3.3 ±0.2	≈1.30
10 x 10 x 12	1012	10.6	10.6	12.3	10.0	1.2	4.5	3.9 ±0.2	≈1.40
10 x 10 x 14	1014	10.6	10.6	14.3	10.0	1.2	4.5	3.9 ±0.2	≈1.50

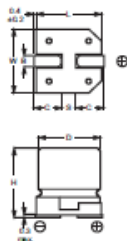


Fig.2 Dimensional outline.

MOUNTING

The capacitors are designed for automatic placement on to printed-circuit boards.

Optimum dimensions of soldering pads depend amongst others on soldering method, mounting accuracy, print layout and/or adjacent components.

For recommended soldering pad dimensions, refer to Fig.3 and Table 3.

SOLDERING

Soldering conditions are defined by the curve, temperature versus time, where the temperature is that measured on the soldering pad during processing.

For maximum conditions refer to Fig.4.

Any temperature versus time curve which does not exceed the specified maximum curves may be applied.

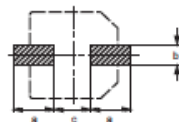


Fig.3 Recommended soldering pad dimensions.

AS A GENERAL PRINCIPLE, TEMPERATURE AND DURATION SHALL BE THE MINIMUM NECESSARY REQUIRED TO ENSURE GOOD SOLDERING CONNECTIONS. HOWEVER, THE SPECIFIED MAXIMUM CURVES SHOULD NEVER BE EXCEEDED.

Table 3

RECOMMENDED SOLDERING PAD DIMENSIONS in millimeters			
CASE CODE	a	b	c
0405	2.6	1.6	1.0
0505	3.0	1.6	1.4
0605	3.5	1.6	1.9
0807	4.0	1.6	2.1
0810	3.5	2.5	3.0
1010	4.0	2.5	4.0
1012	4.3	2.5	4.0
1014	4.3	2.5	4.0

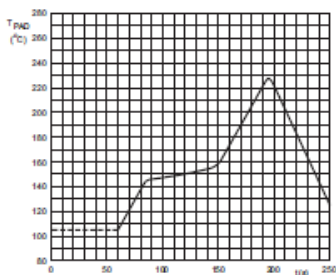


Fig.4 Maximum temperature load during Infrared reflow soldering measured on the soldering pad.

1N5913B Series

3 W DO-41 Surmetic™ 30 Zener Voltage Regulators

This is a complete series of 3 W Zener diodes with limits and excellent operating characteristics that reflect the superior capabilities of silicon-oxide passivated junctions. All this in an axial-lead, transfer-molded plastic package that offers protection in all common environmental conditions.

Features

- Zener Voltage Range – 3.3 V to 200 V
- ESD Rating of Class 3 (>16 KV) per Human Body Model
- Surge Rating of 98 W @ 1 ms
- Maximum Limits Guaranteed on up to Six Electrical Parameters
- Package No Larger than the Conventional 1 W Package
- Pb-Free Packages are Available

Mechanical Characteristics

CASE: Void free, transfer-molded, thermosetting plastic
FINISH: All external surfaces are corrosion resistant and leads are readily solderable

MAXIMUM LEAD TEMPERATURE FOR SOLDERING PURPOSES:

260°C, 1/16" from the case for 10 seconds

POLARITY: Cathode indicated by polarity band

MOUNTING POSITION: Any

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Max. Steady State Power Dissipation (@ $T_A = 75^\circ\text{C}$, Lead Length = 3/8" Derate above 75°C)	P_D	3	W
		24	mW/°C
Steady State Power Dissipation (@ $T_A = 50^\circ\text{C}$ Derate above 50°C)	P_D	1	W
		6.67	mW/°C
Operating and Storage Temperature Range	T_A, T_{stg}	-65 to +200	°C

Maximum ratings are those values beyond which device damage can occur. Maximum ratings applied to the device are individual stress limit values (not normal operating conditions) and are not valid simultaneously. If these limits are exceeded, device functional operation is not implied, damage may occur and reliability may be affected.

*For additional information on our Pb-Free strategy and soldering details, please download the ON Semiconductor Soldering and Mounting Techniques Reference Manual, SOLDERRM/D.

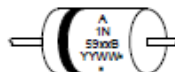


ON Semiconductor®

<http://onsemi.com>



MARKING DIAGRAM



A = Assembly Location
1N5913B = Device Number
YY = Year
WW = Work Week
* = Pb-Free Package
(Note: Microdot may be in either location)

ORDERING INFORMATION

Device	Package	Shipping†
1N5913B, G	Axial Lead (Pb-Free)	2000 Units/Box
1N5913BRL, G	Axial Lead (Pb-Free)	6000/Tape & Reel

†For information on tape and reel specifications, including part orientation and tape sizes, please refer to our Tape and Reel Packaging Specification Brochure, BRD8011/D.

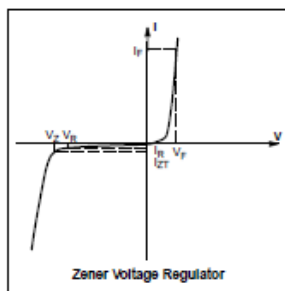
1N5913B Series

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

($T_L = 30^\circ\text{C}$ unless otherwise noted,

$V_F = 1.5\text{ V Max @ } I_F = 200\text{ mAdc}$ for all types)

Symbol	Parameter
V_Z	Reverse Zener Voltage @ I_{ZT}
I_{ZT}	Reverse Current
Z_{ZT}	Maximum Zener Impedance @ I_{ZT}
I_{ZK}	Reverse Current
Z_{ZK}	Maximum Zener Impedance @ I_{ZK}
I_R	Reverse Leakage Current @ V_R
V_R	Breakdown Voltage
I_F	Forward Current
V_F	Forward Voltage @ I_F
I_{ZM}	Maximum DC Zener Current



1N5913B Series

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_J = 30^\circ\text{C}$ unless otherwise noted, $V_Z = 1.5\text{ V Max}$ @ $I_Z = 200\text{ mA}$ for all types)

Device [†] (Note 1)	Device Marking	Zener Voltage (Note 2)				Zener Impedance (Note 3)				Leakage Current		I _{ZM} mA
		V _Z (Volts)			@ I _{ZT}	Z _{ZT} @ I _{ZT}		Z _{0K} @ I _{ZK}	I _R @ V _R			
		Min	Nom	Max	mA	Ω	Ω	mA	μA Max	Volts		
1N5913B, G	1N5913B	3.14	3.3	3.47	113.6	10	500	1	100	1	454	
1N5917B, G	1N5917B	4.47	4.7	4.94	79.8	5	500	1	5	1.5	319	
1N5919B, G	1N5919B	5.32	5.6	5.88	66.9	2	250	1	5	3	267	
1N5920B, G	1N5920B	5.89	6.2	6.51	60.5	2	200	1	5	4	241	
1N5921B, G	1N5921B	6.46	6.8	7.14	55.1	2.5	200	1	5	5.2	220	
1N5923B, G	1N5923B	7.79	8.2	8.61	45.7	3.5	400	0.5	5	6.5	182	
1N5924B, G	1N5924B	8.65	9.1	9.56	41.2	4	500	0.5	5	7	164	
1N5925B, G	1N5925B	9.50	10	10.50	37.5	4.5	500	0.25	5	8	150	
1N5926B, G	1N5926B	10.45	11	11.55	34.1	5.5	550	0.25	1	8.4	136	
1N5927B, G	1N5927B	11.40	12	12.60	31.2	6.5	550	0.25	1	9.1	125	
1N5929B, G	1N5929B	14.25	15	15.75	25.0	9	600	0.25	1	11.4	100	
1N5930B, G	1N5930B	15.20	16	16.80	23.4	10	600	0.25	1	12.2	93	
1N5931B, G	1N5931B	17.10	18	18.90	20.8	12	650	0.25	1	13.7	83	
1N5932B, G	1N5932B	19.00	20	21.00	18.7	14	650	0.25	1	15.2	75	
1N5933B, G	1N5933B	20.90	22	23.10	17.0	17.5	650	0.25	1	16.7	68	
1N5934B, G	1N5934B	22.80	24	25.20	15.6	19	700	0.25	1	18.2	62	
1N5935B, G	1N5935B	25.65	27	28.35	13.9	23	700	0.25	1	20.6	55	
1N5936B, G	1N5936B	28.50	30	31.50	12.5	28	750	0.25	1	22.8	50	
1N5937B, G	1N5937B	31.35	33	34.65	11.4	33	800	0.25	1	25.1	45	
1N5938B, G	1N5938B	34.20	36	37.80	10.4	38	850	0.25	1	27.4	41	
1N5940B, G	1N5940B	40.85	43	45.15	8.7	53	950	0.25	1	32.7	34	
1N5941B, G	1N5941B	44.65	47	49.35	8.0	67	1000	0.25	1	35.8	31	
1N5942B, G	1N5942B	48.45	51	53.55	7.3	70	1100	0.25	1	38.8	29	
1N5943B, G	1N5943B	53.20	56	58.80	6.7	86	1300	0.25	1	42.6	26	
1N5944B, G	1N5944B	58.90	62	65.10	6.0	100	1500	0.25	1	47.1	24	
1N5946B, G	1N5946B	71.25	75	78.75	5.0	140	2000	0.25	1	56	20	
1N5947B, G	1N5947B	77.90	82	86.10	4.6	160	2500	0.25	1	62.2	18	
1N5948B, G	1N5948B	86.45	91	95.55	4.1	200	3000	0.25	1	69.2	16	
1N5950B, G	1N5950B	104.5	110	115.5	3.4	300	4000	0.25	1	83.6	13	
1N5951B, G	1N5951B	114	120	126	3.1	380	4500	0.25	1	91.2	12	
1N5952B, G	1N5952B	123.5	130	136.5	2.9	450	5000	0.25	1	98.8	11	
1N5953B, G	1N5953B	142.5	150	157.5	2.5	600	6000	0.25	1	114	10	
1N5954B, G	1N5954B	152	160	168	2.3	700	6500	0.25	1	121.6	9	
1N5955B, G	1N5955B	171	180	189	2.1	900	7000	0.25	1	136.8	8	
1N5956B, G	1N5956B	190	200	210	1.9	1200	8000	0.25	1	152	7	

Devices listed in **bold**, *italic* are ON Semiconductor Preferred devices. Preferred devices are recommended choices for future use and best overall value.

[†]The "G" suffix indicates Pb-Free package available.

1. TOLERANCE AND TYPE NUMBER DESIGNATION
Tolerance designation - device tolerance of $\pm 5\%$ are indicated by a "B" suffix.

2. ZENER VOLTAGE (V_Z) MEASUREMENT

ON Semiconductor guarantees the zener voltage when measured at 90 seconds while maintaining the lead temperature (T_L) at $30^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$, $3/8"$ from the diode body.

3. ZENER IMPEDANCE (Z_Z) DERIVATION

The zener impedance is derived from 60 seconds AC voltage, which results when an AC current having an rms value equal to 10% of the DC zener current (I_{ZT} or I_{ZK}) is superimposed on I_{ZT} or I_{ZK} .



Variable Reluctance Sensor Interfaces with Differential Input and Adaptive Peak Threshold

General Description

The MAX9924-MAX9927 variable reluctance (VR or magnetic coil) sensor interface devices are ideal for position and speed sensing for automotive crankshafts, camshafts, transmission shafts, etc. These devices integrate a precision amplifier and comparator with selectable adaptive peak threshold and zero-crossing circuit blocks that generate robust output pulses even in the presence of substantial system noise or extremely weak VR signals.

The MAX9926/MAX9927 are dual versions of the MAX9924/MAX9925, respectively. The MAX9924/MAX9926 combine matched resistors with a CMOS input precision operational amplifier to give high CMRR over a wide range of input frequencies and temperatures. The MAX9924/MAX9926 differential amplifiers provide a fixed gain of 1V/V. The MAX9925/MAX9927 make all three terminals of the internal operational amplifier available, allowing greater flexibility for gain. The MAX9926 also provides a direction output that is useful for quadrature-connected VR sensors that are used in certain high-performance engines. These devices interface with both new-generation differential VR sensors as well as legacy single-ended VR sensors.

The MAX9924/MAX9925 are available in the 10-pin μ MAX[®] package, while the MAX9926/MAX9927 are available in the 16-pin QSOPI package. All devices are specified over the -40°C to +125°C automotive temperature range.

Applications

Camshaft VRS Interfaces
Crankshaft VRS Interfaces
Vehicle Speed VRS Interfaces

Features

- Differential Input Stage Provides Enhanced Noise Immunity
- Precision Amplifier and Comparator Allows Small-Signal Detection
- User-Enabled Internal Adaptive Peak Threshold or Flexible External Threshold
- Zero-Crossing Detection Provides Accurate Phase Information

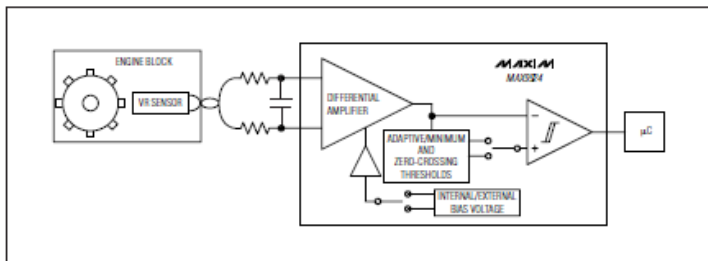
Ordering Information

PART	TEMP RANGE	PIN-PACKAGE
MAX9924 UAJB+	-40°C to +125°C	10 μ MAX
MAX9924 UAJBN+	-40°C to +125°C	10 μ MAX
MAX9925 AUB+	-40°C to +125°C	10 μ MAX
MAX9926 UAJE+	-40°C to +125°C	16 QSOPI
MAX9926 UAJEN+	-40°C to +125°C	16 QSOPI
MAX9927 AEE+	-40°C to +125°C	16 QSOPI
MAX9927 AEEEN+	-40°C to +125°C	16 QSOPI

+Denotes a lead (Pb)-free/RoHS-compliant package.

N denotes an automotive qualified part.

Simplified Block Diagram



Maxim Integrated Products 1

For pricing, delivery, and ordering information, please contact Maxim Direct at 1-888-629-4642, or visit Maxim's website at www.maxim-ic.com.

MAX9924-MAX9927

Variable Reluctance Sensor Interfaces with Differential Input and Adaptive Peak Threshold

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

V _{CC} to GND	-0.3V to +6V	Operating Temperature Range	-40°C to +125°C
All Other Pins	-0.3V to (V _{CC} + 0.3V)	Junction Temperature	+150°C
Current into IN+, IN-, IN+, IN-	+40mA	Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
Current into All Other Pins	+20mA	Lead Temperature (soldering, 10s)	+300°C
Output Short-Circuit (OUT+, OUT-) to GND	10s	Soldering Temperature (reflow)	+260°C
Continuous Power Dissipation (T _A = +70°C) (Note 1)			
10-Pin μ MAX (derate 8.9mW/°C above +70°C)	707.3mW		
16-Pin QSOPT (derate 9.6mW/°C above +70°C)	771.5mW		

Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

PACKAGE THERMAL CHARACTERISTICS (Note 1)

μ MAX	Q50P
Junction-to-Ambient Thermal Resistance (θ_{JA}) 113.1°C/W	Junction-to-Ambient Thermal Resistance (θ_{JA}) 103.7°C/W
Junction-to-Case Thermal Resistance (θ_{JC}) 42°C/W	Junction-to-Case Thermal Resistance (θ_{JC}) 37°C/W

Note 1: Package thermal resistances were obtained using the method described in JEDEC specification JESD51-7, using a four-layer board. For detailed information on package thermal considerations, refer to www.maxim-ic.com/thermal-tutorial.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

(V_{CC} = 5V, V_{DD} = 0V, MAX9925/MAX9927 gain setting = 1V/V, Mode A1, V_{BIAS} = 2.5V, V_{PULLUP} = 5V, R_{PULLUP} = 1k Ω , C_{OUT} = 50pF, T_A = T_{MIN} to T_{MAX}, unless otherwise noted. Typical values are at T_A = +25°C.) (Note 2)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
POWER SUPPLY						
Operating Supply Range	V _{CC}	(Note 3)	4.5	5.5		V
Supply Current	I _{CC}	MAX9924/MAX9925		2.6	5	mA
		MAX9926/MAX9927		4.7	10	
Power-On Time	P _{ON}	V _{CC} > V _{UVLO} = 4.1V, step time for V _{CC} = 1 μ s		30	150	μ s
INPUT OPERATIONAL AMPLIFIER (MAX9925/MAX9927)						
Input Voltage Range	IN+, IN-	Guaranteed by CMRR	0	V _{CC}		V
Input Offset Voltage	V _{OS-DA}	Temperature drift		5		μ V/°C
				0.5	3	mV
Input Bias Current	I _{BAS}	(Note 4)		0.1	6	nA
Input Offset Current	I _{OFF SET}	(Note 4)		0.05	2	nA
Common-Mode Rejection Ratio	CMRR	From V _{CM} = 0 to V _{CC}	75	102		dB
Power-Supply Rejection Ratio	PSRR	MAX9925	88	105		dB
		MAX9927	77	94		
Output Voltage Low	V _{OL}	I _{OL} = 1mA			0.050	V
Output Voltage High	V _{OH}	I _{OH} = -1mA	V _{CC} - 0.050			V
Recovery Time from Saturation	T _{SAT}	To 1% of the actual V _{OUT} after output saturates		1.2		μ s
Gain-Bandwidth Product	GBW			1.4		MHz
Slow Rate	SR			2.3		V/ μ s
Charge-Pump Frequency	f _{CP}			1.3		MHz

Variable Reluctance Sensor Interfaces with Differential Input and Adaptive Peak Threshold

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

(V_{CC} = 5V, V_{IND} = 0V, MAX9925/MAX9927 gain setting = 1V/V, Mode A1, V_{BIAS} = 2.5V, V_{PULLUP} = 5V, R_{PULLUP} = 1kΩ, C_{OUT} = 50pF, T_A = T_{MIN} to T_{MAX}, unless otherwise noted. Typical values are at T_A = +25°C.) (Note 2)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS	
INPUT DIFFERENTIAL AMPLIFIER (MAX9924/MAX9925)							
Input Voltage Range	IN+, IN-	Guaranteed by CMRR	-0.3		V _{CC} + 0.3	V	
Differential Amplifier Common-Mode Rejection Ratio	CMRR	MAX9924 (Note 5)	60	87		dB	
		MAX9926 (Note 5)	55	78			
Input Resistance	R _{IN}	(Note 5)	65	100	135	kΩ	
ADAPTIVE PEAK DETECTION							
Zero-Crossing Threshold	V _{ZERO_THRESH}	Mode B operation (Notes 5, 6)	MAX9924/MAX9925	-6.5	0	+6.5	mV
			MAX9926/MAX9927	-6.5	0	+10	
Fixed and Adaptive Peak Threshold	V _{ADAPTIVE}	Adaptive peak threshold		33		%PK	
	V _{MIN_THRESH}	Minimum threshold of hysteresis comparator MAX9924/MAX9926 (Notes 5, 6)	4	15	30	mV	
		Minimum threshold of hysteresis comparator MAX9925/MAX9927 (Notes 5, 6)	20	30	50		
		V _{MIN_THRESH} - V _{ZERO_THRESH} for MAX9924 (Notes 5, 6)	7	15	26		
		V _{MIN_THRESH} - V _{ZERO_THRESH} for MAX9926 (Notes 5, 6)	2	15	30		
		V _{MIN_THRESH} - V _{ZERO_THRESH} for MAX9925/MAX9927 (Notes 5, 6)	19	30	50		
Watchdog Timeout for Adaptive Peak Threshold	t _{WD}	Timing window to reset the adaptive peak threshold if not triggered (input level below threshold)	45	85	140	ms	
ENTIRE SYSTEM							
Comparator Output Low Voltage	V _{COUL_OUT}				0.2	V	
Propagation Delay	t _{PDZ}	Overdrive = 2V to 3V, zero-crossing		50		ns	
	t _{PDA}	Overdrive = 2V to 3V, adaptive peak		150			
COUT Transition Time	t _{HL, LH}			2		ns	
Propagation Delay Jitter	t _{PD_JITTER}	Includes noise of differential amplifier and comparator, f = 10kHz, V _{IN} = 1Vp-p sine wave		20		ns	

MAX9924-MAX9927

Variable Reluctance Sensor Interfaces with Differential Input and Adaptive Peak Threshold

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

(V_{CC} = 5V, V_{GND} = 0V, MAX9925/MAX9927 gain setting = 1V/V, Mode A1, V_{BIAS} = 2.5V, V_{PULLUP} = 5V, R_{PULLUP} = 1k Ω , C_{OUT} = 50pF, T_A = T_{MIN} to T_{MAX}, unless otherwise noted. Typical values are at T_A = +25°C.) (Note 2)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
EXT						
EXT Voltage Range	V _{EXT}	Mode B, T _A = +125°C	1.5	V _{CC} - 1.1	V	
		Mode C, T _A = +125°C	0.14	V _{CC} - 1.1		
Input Current to EXT	I _{EXT}	Mode B, V _{EXT} > V _{BIAS} ; and Mode C		10	μA	
DIRN (MAX9925 Only)						
Output Low Voltage				0.2	V	
INT_THRS, ZERO_EN						
Low Input	V _{IL}			0.3 x V _{CC}	V	
High Input	V _{IH}		0.7 x V _{CC}		V	
Input Leakage	I _{LEAK}			1	μA	
Input Current ZERO_EN	I _{SINK}	Pullup resistor = 10kΩ, V _{ZERO_EN} = V _{GND}	500	800	μA	
Switching Time Between Modes A1, A2, and Modes B, C	t _{SW}	With INT_THRS = GND, auto peak-detect is disabled, and EXT_THRS is active		3	μs	
BIAS						
Input Current to BIAS	I _{BIAS}	Modes A1, A2, B, C		1	μA	
BIAS Voltage Range	V _{BIAS}	Modes A1, B, T _A = +125°C	1.5	V _{CC} - 1.1	V	
		Mode C, T _A = +125°C	0.2	V _{CC} - 1.1		
Internal BIAS Reference Voltage	V _{INT_BIAS}	Mode A2 (MAX9924/MAX9926)		2.46	V	

Note 2: Specifications are 100% tested at T_A = +125°C, unless otherwise noted. All temperature limits are guaranteed by design.

Note 3: Inferred from functional PSRR.

Note 4: CMOS inputs.

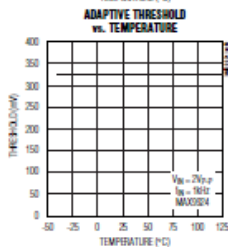
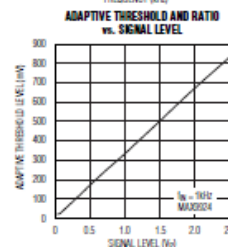
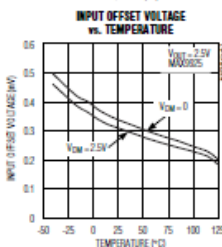
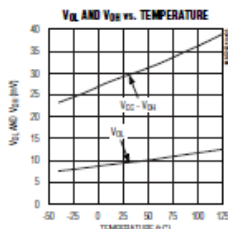
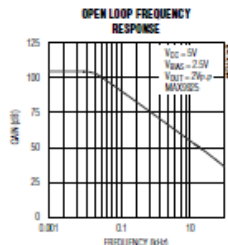
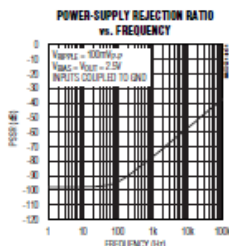
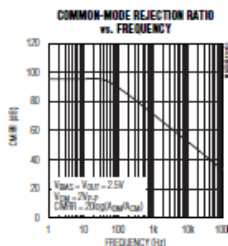
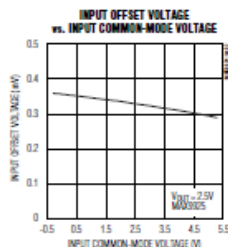
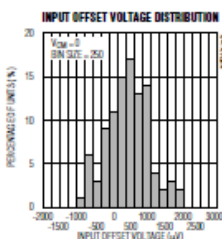
Note 5: Guaranteed by design.

Note 6: Includes effect of V_{OS} of internal op amp and comparator.

Variable Reluctance Sensor Interfaces with Differential Input and Adaptive Peak Threshold

Typical Operating Characteristics

($V_{CC} = 5V$, $V_{GND} = 0V$, MAX9925/MAX9927 gain setting = 1VN. All values are at $T_A = 425^{\circ}C$, unless otherwise noted.)



MAXIM

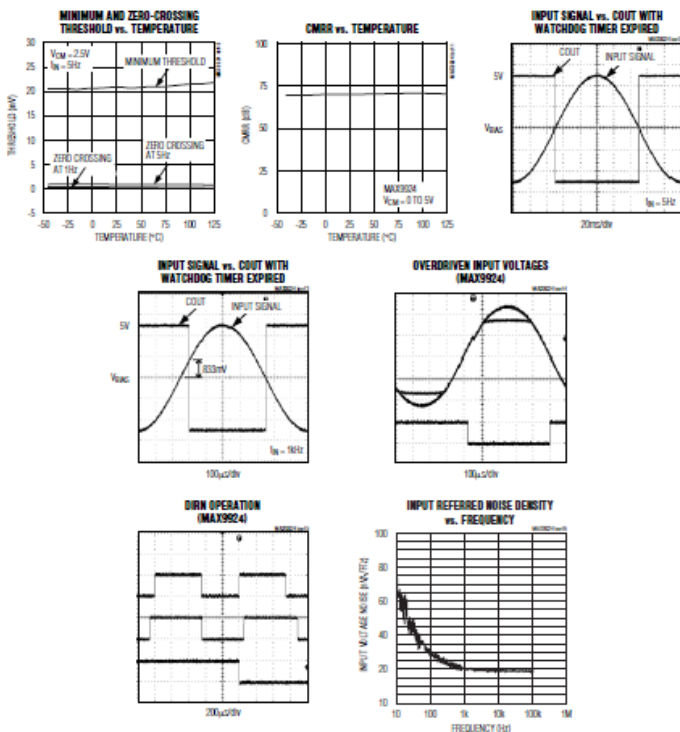
5

MAX9924-MAX9927

Variable Reluctance Sensor Interfaces with Differential Input and Adaptive Peak Threshold

Typical Operating Characteristics (continued)

($V_{CC} = 5V$, $V_{GND} = 0V$, MAX9925/MAX9927 gain setting = 1V/V. All values are at $T_A = +25^\circ C$, unless otherwise noted.)



Variable Reluctance Sensor Interfaces with Differential Input and Adaptive Peak Threshold

Pin Description

MAX9924-MAX9927

PIN				NAME	FUNCTION
MAX9924	MAX9925	MAX9926	MAX9927		
1	1	—	—	IN+	Noninverting Input
2	2	—	—	IN-	Inverting Input
—	3	—	—	OUT	Amplifier Output
3	—	—	—	N.C.	No Connection. Not internally connected.
4	4	—	—	BIAS	Input Bias. Connect to an external resistor-divider and bypass to ground with a 0.1µF and 10µF capacitor.
5	5	11	11	GND	Ground
6	6	13	—	ZERO_EN	Zero-Crossing Enable. Mode configuration pin, internally pulled up to V _{CC} with 10kΩ resistor.
7	7	—	—	COUT	Comparator Output. Open-drain output, connect a 10kΩ pullup resistor from COUT to V _{PULLUP} .
8	8	—	—	EXT	External Reference Input. Leave EXT unconnected in Modes A1, A2. Apply an external voltage in Modes B, C.
9	9	—	—	INT_THRS	Internal Adaptive Threshold. Mode configuration pin.
10	10	14	14	V _{CC}	Power Supply
—	—	1	1	INT_THRS1	Internal Adaptive Threshold 1. Mode configuration pin.
—	—	2	2	EXT1	External Reference Input 1. Leave EXT unconnected in Modes A1, A2. Apply an external voltage in Modes B, C.
—	—	3	3	BIAS1	Input Bias 1. Connect to an external resistor-divider and bypass to ground with a 0.1µF and 10µF capacitor.
—	—	4	4	COUT1	Comparator Output 1. Open-drain output, connect a 10kΩ pullup resistor from COUT1 to V _{PULLUP} .
—	—	5	5	COUT2	Comparator Output 2. Open-drain output, connect a 10kΩ pullup resistor from COUT2 to V _{PULLUP} .
—	—	6	6	BIAS2	Input Bias 2. Connect to an external resistor-divider and bypass to ground with a 0.1µF and 10µF capacitor.
—	—	7	7	EXT2	External Reference Input 2. Leave EXT unconnected in Modes A1, A2. Apply an external voltage in Modes B, C.
—	—	8	8	INT_THRS2	Internal Adaptive Threshold 2. Mode configuration pin.
—	—	9	9	IN2+	Noninverting Input 2
—	—	10	10	IN2-	Inverting Input 2
—	—	12	—	DIRN	Rotational Direction Output. Open-drain output, connect a pullup resistor from DIRN to V _{PULLUP} .
—	—	—	12	OUT2	Amplifier Output 2
—	—	—	13	OUT1	Amplifier Output 1
—	—	15	15	IN1-	Noninverting Input 1
—	—	16	16	IN1+	Inverting Input 1

MAX9924-MAX9927

Functional Diagrams (continued)





STP62NS04Z

N-channel clamped 12.5 mΩ, 62 A, TO-220
fully protected MESH OVERLAY™ Power MOSFET

Features

Type	V _{DS}	R _{DS(on)} max	I _D
STP62NS04Z	Clamped	≤ 0.015 Ω	62 A

- 100% avalanche tested
- Low capacitance and gate charge
- 175 °C maximum junction temperature

Application

- Switching applications

Description

Fully clamped MOSFET is produced by using ST's most advanced MESH OVERLAY™ process based on strip layout. The inherent benefits of this new technology coupled with the extra clamping capabilities make this product particularly suitable for the harshest operating conditions such as those encountered in the automotive environment. It is also recommended for any other application requiring extra ruggedness.

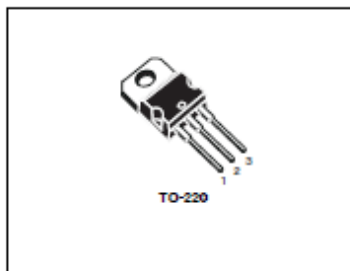


Figure 1. Internal schematic diagram

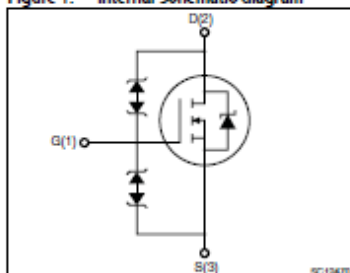


Table 1. Device summary

Order code	Marking	Package	Packaging
STP62NS04Z	P62NS04Z	TO-220	Tube

1 Electrical ratings

Table 2. Absolute maximum ratings

Symbol	Parameter	Value	Unit
V_{DS}	Drain-source voltage ($V_{GS} = 0$)	Clamped	V
V_{GS}	Gate-source voltage	Clamped	V
I_D	Drain current (continuous) at $T_C = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$	62	A
I_D	Drain current (continuous) at $T_C = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$	37.5	A
I_{DG}	Drain gate current (continuous)	± 50	mA
I_{GS}	Gate source current (continuous)	± 50	mA
$I_{DM}^{(1)}$	Drain current (pulsed)	248	A
P_{TOT}	Total dissipation at $T_C = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$	110	W
	Densating factor	0.74	W/ $^{\circ}\text{C}$
$dv/dt^{(2)}$	Peak diode recovery voltage slope	8	V/ns
$E_{AS}^{(3)}$	Single pulse avalanche energy	500	mJ
V_{ESD}	ESD (HEM - C = 100 pF, R = 1.5 k Ω)	8	V
T_J	Operating junction temperature	-55 to 175	$^{\circ}\text{C}$
T_{stg}	Storage temperature		

1. Pulse width limited by safe operating area

2. $I_{SD} \leq 40\text{ A}$, $dv/dt \leq 100\text{ A}/\mu\text{s}$, $V_{DD} \leq V_{(V_{DS})max}$, $T_J \leq T_{J,max}$ 3. Starting $T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $I_D = 20\text{ A}$, $V_{DD} = 20\text{ V}$

Table 3. Thermal data

Symbol	Parameter	Value	Unit
$R_{\theta j-c}$	Thermal resistance junction-case max	1.36	$^{\circ}\text{C}/\text{W}$
$R_{\theta j-a}$	Thermal resistance junction-ambient max	62.5	$^{\circ}\text{C}/\text{W}$
T_I	Maximum lead temperature for soldering purpose	300	$^{\circ}\text{C}$

2 Electrical characteristics

(T_{CASE}=25 °C unless otherwise specified)

Table 4. On/off states

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V _{(BR)DSS}	Drain-source breakdown voltage	I _D = 1 mA, V _{GS} = 0	33			V
I _{DSS}	Zero gate voltage drain current (V _{GS} = 0)	V _{DS} = 16 V			10	μA
I _{GSS}	Gate body leakage current (V _{DS} = 0)	V _{GS} = ±10 V			10	μA
V _{CSS}	Gate-source breakdown voltage	I _{CS} = 100 μA	18			V
V _{GS(th)}	Gate threshold voltage	V _{DS} = V _{GS} , I _D = 250 μA	2		4	V
R _{DS(on)}	Static drain-source on resistance	V _{GS} = 10 V, I _D = 30 A		12.5	15	mΩ

Table 5. Dynamic

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
g _{fs} ⁽¹⁾	Forward transconductance	V _{DS} = 15 V, I _D = 30 A	-	20		S
C _{iss}	Input capacitance	V _{DS} = 25 V, f = 1 MHz, V _{GS} = 0	-	1330		pF
C _{oss}	Output capacitance			420		pF
C _{rss}	Reverse transfer capacitance			135		pF
Q _g	Total gate charge	V _{DD} = 20 V, I _D = 40 A V _{GS} = 10 V	-	34	47	nC
Q _{gs}	Gate-source charge			10		nC
Q _{gd}	Gate-drain charge			11.5		nC

1. Pulsed: pulse duration=300μs, duty cycle 1.5%

Table 6. Switching times

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
t _{d(on)}	Turn-on delay time	V _{DD} = 20 V, I _D = 20 A, R _{DS(on)} = 4.7 mΩ, V _{GS} = 10 V <i>Figure 14 on page 8</i>	-	13		ns
t _r	Rise time			104		ns
t _{d(off)}	Turn-off delay time			41		ns
t _f	Fall time			42		ns
t _{r(vdth)}	Off-voltage rise time	V _{clamp} = 30 V, I _D = 40 A R _{DS(on)} = 4.7 mΩ, V _{GS} = 10 V <i>Figure 14 on page 8</i>	-	30		ns
t _f	Fall time			54		ns
t _c	Cross-over time			90		ns

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Kabupaten Mojokerto, pada tanggal 27 Februari 1995. Penulis merupakan anak Pertama dari tiga bersaudara. Pendidikan formal yang telah ditempuh yaitu tahun 2001-2007 bersekolah di SDN Kranggan 3 Mojokerto, Kemudian tahun 2007-2010 melanjutkan ke SMPN 1 SOOKO Mojokerto, dan tahun 2010-2013 melanjutkan ke SMA Negeri 1 SOOKO Mojokerto program studi IPA. Pada tahun 2013 penulis melanjutkan studinya di Perguruan Tinggi Negeri di Surabaya, dengan mengambil Program Studi D3 Teknik Mesin FTI-ITS dengan bidang studi Manufaktur.

Selama duduk di bangku kuliah penulis aktif mengikuti kegiatan baik di bidang akademik maupun non akademik. Penulis juga pernah mengikuti berbagai kegiatan dan bergabung dalam organisasi untuk menunjang softskill. Kegiatan yang pernah diikutinya antara lain : Staff BSO Bengkel di Himpunan Mahasiswa D3 Teknik Mesin FTI – ITS 2013/2015, Staff Penelitian dan Pengembangan – Departemen Riset dan Teknologi – Himpunan Mahasiswa D3 Teknik Mesin FTI – ITS 2013/2015, Staff ahli BSO Bengkel di Himpunan Mahasiswa D3 Teknik Mesin FTI – ITS 2015/2016, dan Tim teknis di *Chassis and Steering* Mobil Listrik NOGOGENI D3 Teknik Mesin ITS 2015/2016. Pelatihan yang pernah diikuti penulis : Pelatihan LKMM Pra TD di Fakultas Teknik Industri ITS (2013). Penulis Juga pernah melaksanakan kerja praktek di PT. Barata Indonesia selama satu bulan pada 01 Juni s/d 31 Juni 2015 di bidang *maintanance* di *Workshop I*. Bagi pembaca yang ingin lebih mengenal penulis dan ingin berdiskusi lebih luas lagi dapat menghubungi E-mail : Renomurdap@gmail.com dan Telp : 085231313600